

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC



30900005904

PROVÍNCIA ALCALINA CENTRAL, PARAGUAI  
CENTRO-ORIENTAL: ASPECTOS TECTÔNICOS,  
PETROGRÁFICOS E GEOCRONOLÓGICOS

Victor Velázquez Fernandez



Orientador: Prof. Dr. Celso de Barros Gomes

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO EXAMINADORA

nome

ass.

Presidente: Dr. C.B.Gomes

Examinadores: Dr. E. Ruberti

Dr. K.Kawashita

SÃO PAULO  
1992

PROVÍNCIA ALCALINA CENTRAL, PARAGUAI CENTRO-ORIENTAL: ASPECTOS  
TECTÔNICOS, PETROGRÁFICOS E GEOCRONOLÓGICOS



Victor Velázquez Fernandez

*A meus pais*

*Raul Velázquez Salcedo*

*Sergia F. de Velázquez*

## ÍNDICE GERAL

	Pág.
RESUMO	x
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	01
CAPÍTULO 2 - METODOLOGIA	04
2.1. Trabalhos de campo	04
2.2. Petrografia microscópica	05
2.3. Determinações geocronológicas	05
2.3.1. Análises K/Ar	06
2.3.2. Análises Rb/Sr	07
CAPÍTULO 3 - MAGMATISMO ALCALINO NO PARAGUAI ORIENTAL	09
3.1. Esboço tectônico geral	10
3.2. Províncias alcalinas	12
CAPÍTULO 4 - PROVÍNCIA ALCALINA CENTRAL	17
4.1. Geologia local	17
4.1.1. Sequência sedimentar paleozóica	17
4.1.2. Magmatismo básico-alcalino	22
4.1.3. Orientação e distribuição dos diques	28
4.2. Domínio tectônico	29

4.3. Natureza isotópica e cronologia do magmatismo	32
4.4. Características petrográficas	35
4.4.1. Suíte plutônica	36
4.4.2. Suíte vulcânica	52
CAPÍTULO 5 - GEOCRONOLOGIA	75
5.1. Idades K/Ar	75
5.2. Idades Rb/Sr	80
5.3. Idades de traços de fissão em apatitas	85
CAPÍTULO 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
6.1. Evolução do "rift" de Assunção	87
6.2. Aspectos petrográficos	94
6.3. Aspectos geocronológicos	98
CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES	101
CAPÍTULO 8 - AGRADECIMENTOS	104
CAPÍTULO 9 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106

## LEGENDAS DAS FIGURAS

	Pág.
Figura 1 - Mapa de localização da área investigada...	01
Figura 2 - Mapa do arcabouço estrutural da Bacia do Paraná (modificado de IPT, 1980).....	11
Figura 3 - Mapa do arcabouço estrutural do Paraguai Oriental (modificado de Anschutz Corporation, 1980; Livieres e Quade, 1987).....	11
Figura 4 - Distribuição geográfica e associação tectônica dos corpos alcalinos do Paraguai (simplificado de Livieres e Quade, 1987).....	13
Figura 5 - Mapa litológico da área estudada (compilado de Thomas and Associates, 1976; Anschutz Corporation, 1980; Bitschene, 1987).....	18
Figura 6 - Mapa de localização dos corpos alcalinos da Província Central (para numeração ver Tabela 2)...	25
Figura 7 - Posicionamento do "rift" de Assunção (modificado de Degraff, 1985).....	31
Figura 8 - Modelos explicativos sobre a origem do Vale do Ypacaraí (cf. Degraff et al., 1981).....	31
Figura 9 - Histograma de idades K/Ar para rochas alcalinas da Província Central. 1. Palmieri e Arribas (1975); 2. Bitschene (1987); 3. Sonoki e Garda (1988); Velázquez et al. (1990b); 5. G.Capaldi (dados inéditos).....	79
Figura 10 - Campo de variação de idades K/Ar e seu valor médio para os diversos corpos alcalinos da Província Central.....	79
Figura 11 - Isócrona de referência Rb/Sr para rochas alcalinas da Província Central (cf. Velázquez et al., 1990b). 1. sienodiorito (Rt), Arruaí; 2. essexito (Rt), San José; 3. malignito (Rt), Mbocayaty; 4. sienodiorito (Rt), Santo Tomás; 5. sienodiorito (Rt), Potreto Ybaté; 6. sienodiorito (Bi), Arruaí; 7. essexito (Bi), San José; 8. malignito (Bi), Mbocayaty; 9. malignito (Fa), Mbocayaty; 10. sienodiorito (Bi), Santo Tomás; 11. malignito (Bi), Aguapety Porton; 12. malignito (Rt), Aguapety Porton.....	83

Figura 12 - Isócrona interna Rb/Sr para o corpo alcalino Mbocayaty (extraído de Velázquez et al., 1990b). 1. malignito (Rt); 2. malignito (Bi); 3. malignito (Fa).....	83
Figura 13 - Gráfico relacionando os valores $R_o$ para diversos complexos alcalinos da Província Central....	84
Figura 14 - Mapa esquemático da separação dos continentes ilustrando o movimento rotacional diferencial das porções ocidental e oriental (extraído de Conceição et al., 1988).....	89
Figura 15 - Modelo evolutivo do "rift" de Assunção....	91
Figura 16 - Modelo proposto por Unternehr et al. (1983) para as deformações intraplacas na África e América do Sul.....	94
Figura 17 - Histograma representativo das rochas alcalinas da Província Central. A, suíte intrusiva; b, suíte extrusiva.....	95

## LEGENDAS DAS TABELAS

	Pág.
Tabela 1 - Características gerais e localização dos corpos alcalinos do Paraguai Oriental (extraído de Livieres e Quade, 1987).....	14
Tabela 2 - Características gerais e localização dos corpos alcalinos mesozóicos da Província Central.....	24
Tabela 3 - Relação de idades e razão inicial das unidades magmáticas associadas ao "rift" de Assunção.	33
Tabela 4 - Petrografia esquemática das rochas plutônicas da Província Central.....	37
Tabela 5 - Petrografia esquemática das rochas vulcânicas da Província Central.....	71
Tabela 6 - Idades K/Ar para algumas ocorrências de rochas alcalinas mesozóicas da Província Central.....	77
Tabela 7 - Dados isotópicos para algumas ocorrências de rochas alcalinas mesozóicas da Província Central.	81
Tabela 8 - Idades de traços de fissão em apatitas para alguns corpos alcalinos da Província Central....	85
Tabela 9 - Resumo das principais características do rifteamento Sul-Atlântico (cf. Conceição et al., 1988).....	89
Tabela 10 - Características gerais mais relevantes do "rift" de Assunção.....	91



## LEGENDAS DAS FOTOMICROGRAFIAS

Pág.

- Foto 1 - Essexito. Textura alotriomórfica granular, com as fases máficas, dominantes, representadas por augita, olivina e biotita; as félsicas são constituídas de plagioclásio (hábito tabular com geminação polissintética) e nefelina xenomórfica de cor cinza-azulado. Nicóis cruzados, filtro azul, 25X. 39
- Foto 2 - Essexito. Nota-se textura de tendência mais hipidiomórfica, além de maior abundância em minerais félsicos (plagioclásio, hábito tabular com geminação polissintética; nefelina intersticial xenomórfica). As fases máficas consistem em augita geminada e alguns poucos cristais de olivina xenomórfica. Nicóis cruzados, filtro azul, 25X. 39
- Foto 3 - Olivina sienogabro. Textura tipicamente alotriomórfica granular. Observam-se cristais de plagioclásio com geminação polissintética e feldspato alcalino, de hábito tabular, geminado segundo a lei de Carlsbad. Além disso, reconhecem-se grãos idiomórficos de augita. Nicóis cruzados, filtro azul, 25X. 42
- Foto 4 - Olivina sienogabro. Mesma secção em nicóis paralelos, possibilitando a distinção de grãos isolados de olivina, com relevo mais alto, e apresentando bordas de reação. Nota-se também a presença de opacos na forma de inclusões nos piroxênios. O material claro corresponde à fase félsica. 42
- Foto 5 - Sienodiorito. Textura hipidiomórfica granular, com plagioclásio subidiomórfico e geminado polissinteticamente. Feldspato alcalino e augita apresentam-se xenomórficos. Nicóis cruzados, filtro azul, 25X. 45
- Foto 6 - Sienodiorito. Mesma secção em nicóis paralelos. Vê-se melhor a presença de biotita caracterizando duas fases distintas de geração. A primeira, na forma de grãos isolados de coloração mais clara; a segunda, associada aos opacos e dispendo-se ao seu redor, possui coloração mais escura. 45

Foto 7 - Malignito. Textura granular alotriomórfica, com augita subidiomórfica de hábito prismático; nefelina (cinza-azulado) e feldspato alcalino (esbranquiçado) mostram-se intercrescidos simplectiticamente. Nicóis cruzados, filtro azul, 25X.....	48
Foto 8 - Malignito. Mesma secção em nicóis paralelos. Augita, de cor amarelo-pardacento e relevo marcante, associa-se a feldspato alcalino parcialmente alterado e de aspecto sujo; a parte mais límpida corresponde a nefelina. Reconhece-se também a presença de opacos bordejando cristais de biotita de cor castanho-avermelhado.....	48
Foto 9 - Malignito. Observa-se melhor o intercrescimento simplectítico reunindo feldspato alcalino (cor clara) e nefelina (cor cinza-azulado) na forma de massas totalmente irregulares. Nicóis cruzados, filtro azul, 25X.....	49
Foto 10 - Nefelina sienito. Textura granular alotriomórfica com cristais xenomórficos de feldspato alcalino (branco), nefelina subidiomórfica (cinza claro), egirina-augita xenomórfica e biotita lamelar. Nicóis cruzados, filtro azul, 25X.....	51
Foto 11 - Nefelina sienito. Mesma secção em nicóis paralelos. Vê-se melhor o cristal zonado de egirina-augita, com a parte central de coloração verde-amarelado e a borda mais esverdeada, além de biotita.....	51
Foto 12 - Basalto alcalino. Textura glomeroporfirítica constituída de minerais máficos (augita) numa matriz fina de plagioclásio, augita e nefelina intersticial. Nicóis cruzados, filtro azul, 100X.....	54
Foto 13 - Basalto alcalino. Mesma secção em nicóis paralelos. O fundo claro corresponde às fases félsicas (predominantemente plagioclásio), os cristais de coloração verde-amarelado pálido a piroxênio e os minerais escuros a opacos (magnetita?).....	54
Foto 14 - Basalto alcalino. Textura glomeroporfirítica formada por minerais máficos (augita). No centro da foto, observa-se fenocristal de augita com zoneamento combinado: nas bordas do grão do tipo oscilatório; no núcleo, do tipo ampulheta. Nicóis cruzados, filtro azul, 100X.....	55

- Foto 15 - Tefrito. Textura microporfirítica, sendo os microfenocristais em sua maioria de diopsídio-augita e, ocasionalmente, de biotita. A matriz muito fina é constituída essencialmente de piroxênio, plagioclásio e nefelina. Nicóis cruzados, filtro azul, 25X..... 58
- Foto 16 - Tefrito. Mesma secção em nicóis paralelos. O fundo claro corresponde aos constituintes félsicos da matriz. Na parte central da foto, vê-se cristal de biotita parcialmente absorvido, circundado por grãos de opacos..... 58
- Foto 17 - Traquiandesito. Textura microporfirítica, com cristais de clinopiroxênio (titano-augita) exibindo zoneamento do tipo setorial. A matriz é constituída essencialmente de cristais subidiomórficos de plagioclásio e feldspato alcalino. Nicóis cruzados, filtro azul, 25X..... 60
- Foto 18 - Traquiandesito. Mesma secção em nicóis paralelos. Nota-se que os microfenocristais apresentam cor marrom claro e os microlitos cor esverdeada; o fundo claro corresponde à fase félsica. 60
- Foto 19 - Traquifonolito. Textura porfirítica representada por cristais subidiomórficos de augita e leucita geminada imersos em matriz fina de feldspato alcalino subidiomórfico. Nicóis cruzados, filtro azul, 100X..... 63
- Foto 20 - Traquifonolito. Mesma secção em nicóis paralelos. O piroxênio (egirina-augita) da matriz mostra coloração esverdeada e o material claro corresponde ao cristal de leucita..... 63
- Foto 21 - Traquito. Textura traquítica com crescimento paralelo a subparalelo de feldspato alcalino de hábito tabular e egirina-augita prismática. Na parte central da foto (superior e inferior) nota-se a presença de xenocristais de anfibólio do tipo hornblenda, gerando borda de reação rica em piroxênio e opacos. Nicóis cruzados, filtro azul 25X..... 65
- Foto 22 - Traquito. Mesma secção em nicóis paralelos. Observa-se melhor os cristais de egirina-augita de cor esverdeada. A massa irregular de coloração marrom claro corresponde a cristais de feldspato alcalino parcialmente alterados e os espaços, claros e lípidos, são de sodalita..... 66

- Foto 23 - Traquito. Textura traquítica e porfirítica, como indicado por cristal idiomórfico de hornblenda (parte central da foto) com geminação e zoneamento oscilatório. A matriz é constituída de feldspato alcalino subidiomórfico de hábito tabular e alguns poucos grãos subidiomórficos de piroxênio. Nicóis cruzados, filtro azul, 25X..... 66
- Foto 24 - Xenólito. Zona de contato entre a rocha hospedeira (traquito) e xenólito de hornblendito, à esquerda da foto. A mineralogia básica reúne hornblenda, além de piroxênio do tipo augita a diopsídio-augita. Nicóis cruzados, filtro azul, 25X. 68
- Foto 25 - Xenólito. Mesma secção em nicóis paralelos. Distingue-se anfibólio de cor verde-acastanhado até verde-amarelado como cristais xenomórficos e clinopiroxênio incolor e de aspecto límpido. Na borda do contato observam-se alguns grãos de piroxênio de coloração mais esverdeada, produto da reação com a rocha hospedeira. Filtro azul, 25X..... 68
- Foto 26 - Fonolito. Textura pseudotraquítica com forte orientação dos cristais prismáticos de piroxênio (egirina). A matriz leucocrática reúne feldspato alcalino e nefelina. Nicóis cruzados, filtro azul, 100X..... 72
- Foto 27 - Fonolito. Mesma secção em nicóis paralelos. Nota-se melhor os cristais de egirina de coloração esverdeada. A massa irregular de cor amarelo-esverdeado consiste basicamente em finos cristais de piroxênio e feldspato alcalino parcialmente alterado; os espaços vazios e mais límpidos correspondem a cristais de nefelina. Filtro azul, 100X..... 72
- Foto 28 - Fonolito. Textura mostrando orientação pronunciada dos cristais de feldspato alcalino de hábito tabular alongado, além de evidências de resfriamento rápido, como indicado pela disposição subdendrítica dos grãos de feldspato. Nicóis cruzados, filtro azul, 25X..... 73

## RESUMO

Na borda ocidental da Bacia do Paraná, a Província Central é a que reúne o maior número de ocorrências magmáticas de caráter alcalino. Ela localiza-se na porção centro-leste do Paraguai Oriental, correspondendo aproximadamente às coordenadas geográficas 25°39' a 26°10' de Latitude Sul e 56°21' a 57°45' de Longitude Oeste.

Tectonicamente, acha-se associada a uma mega-estrutura denominada "rift" de Assunção, que se estende desde a cidade homônima até as cercanias da cordilheira de Ybytyruzú, cobrindo cerca de 200 km de comprimento e 25 a 40 km de largura. A orientação se dá segundo NW-SEE e a sua história geológica aponta para um regime tectônico de força dupla dextral, predominantemente tensional, e relacionado do ponto de vista genético com a abertura do oceano Atlântico. Com base fundamentalmente nos eventos cronológicos magmáticos, é possível distinguir-se quatro estágios principais ligados à sua evolução. Estes abrangem um longo intervalo de tempo, do Mesozóico ao Cenozóico, com o pico de máxima atividade tendo lugar no Cretáceo Inferior (135-120 Ma).

Evidências texturais, associações mineralógicas e dados de campo permitiram a caracterização de duas suítes litológicas principais, plutônica e vulcânica. Na primeira se incluem rochas com textura eminentemente fanerítica e que ocorrem na maior parte das vezes como "stocks", intrudindo discordantemente encaixantes sedimentares (arenitos). Microscopicamente, foram diferenciadas as seguintes variedades petrográficas: essexitos, olivina

sienogabros, malignitos, sienodioritos e nefelina sienitos. Quanto à textura, elas mostram variação de hipidiomórfica a alotriomórfica granular e natureza holocristalina. A segunda aparece frequentemente como derrames de lavas, "plugs", estes representando cerros que se destacam na topografia, e diques de dimensões variadas, de centimétricas a métricas. Aqui se agrupam basaltos alcalinos, tefritos, traquiandesitos, traquifonolitos e fonolitos. Estas rochas apresentam textura marcadamente porfirítica, com mega, feno e microfenocristais dos mais diversos minerais e matriz afanítica de natureza holocristalina.

No tocante à composição mineralógica, os termos petrográficos mais máficos contêm, de modo geral, maior riqueza em clinopiroxênios (augita a diopsídio-augita), olivina magnésiana e plagioclásios de natureza cálcica (labradorita-bytownita). Já os membros mais félsicos exibem piroxênio do tipo egirina-augita a aegirina, rara olivina e plagioclásios de composição intermediária (andesina-labradorita). Na suíte plutônica, o feldspato alcalino é do tipo ortoclásio, enquanto que, na vulcânica, parece corresponder a sanidina. Feldspatóides são comuns a ambas as suítes. Dentre eles, nefelina é a fase mais abundante, com leucita e sodalita restritas quase que somente às rochas vulcânicas, traquifonolitos e traquitos e, mais raramente, fonolitos. Como acidentais reconhecem-se biotita e anfibólio e como acessórios mais frequentes estão presentes apatita, titanita, opacos e zircão.

Geocronologicamente, os dados disponíveis (K/Ar e Rb/Sr) indicam como principal período de colocação dos corpos o intervalo 130-120 Ma (Cretáceo Inferior), guardando, assim, boa concordância com as idades obtidas para as ocorrências alcalinas

da borda oriental na Bacia do Paraná pertencentes ao cronogrupo de 133 Ma. Por outro lado, as idades de traços de fissão em apatitas evidenciam intervalo de tempo bem mais recente, refletindo, muito provavelmente, o momento de resfriamento dos corpos, ou então, indicando o resfriamento regional da área ligado a um período de equilíbrio isostático após a abertura do "rift".

A razão inicial  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (0,07685-0,70790) para as rochas alcalinas da Província Central se mostra um pouco elevada comparativamente ao material mantélico, sugerindo, assim, fonte do manto mais radiogênica, ou ainda, a existência de eventual processo de contaminação crustal.

## ABSTRACT

At the western border of the Paraná Basin, alkaline rocks are found in great number in the Central Province, of central-eastern Paraguay between 25°39' to 26°10'S latitude and 56°21' to 57°45'W longitude.

Tectonically, those occurrences are related to the Asunción rift, a megastructure which extends from that city to the Ybytyruzú hills over an area of up to 200 km in length by 35-40 km in width. The rift, trending NW-SSE, shows a very complex tectonic history, involving a dextral, dominantly tensional, double stress motion. It is also related to the opening of the South Atlantic. On the basis of the chronology of magmatic events, it is suggested that the rift evolved in a complex way in four main stages covering a large span of time (Mesozoic to Cenozoic), with magmatic activity reaching its maximum in the Early Cretaceous, 135-120 Ma ago.

Textural features, mineralogical assemblages and field evidence allow the rocks to be grouped into two suites, one plutonic and the other volcanic. In the first group are included rocks commonly cropping out as stocks, intrusive into sandstone country rocks. Microscopically, several petrographic types can be distinguished: essexites, olivine syenogabbros, malignites, syenodiorites and nepheline syenites. These rocks are always holocrystalline and exhibit a phaneritic granular texture ranging from hypidiomorphic to allotriomorphic. The volcanic suite occurs in general as lava flows, plugs (forming small hills) and



dykes with centimetric to metric widths. This suite is made up of alkaline basalts, tephrites, trachyandesites, trachyphonolites, trachytes and phonolites, all typically porphyritic, with mega-, pheno- and microphenocrystals of various minerals within an aphanitic groundmass.

From a mineralogical viewpoint, the mafic rocks are richer in clinopyroxenes (augite to diopside-augite), magnesian olivine and calcic plagioclase (labradorite-bytownite). On the other hand, the more felsic rocks contain pyroxenes of different composition (aegerine-augite to aegerine), rare olivine, less calcic plagioclase (andesine-labradorite) and alkali feldspar. In the plutonic suite the alkali feldspar is orthoclase, whereas in the volcanic suite is represented by sanidine. Feldspathoids occur in both associations, nepheline being the most abundant phase in the plutonic rocks. Leucite and sodalite are only present in volcanic types (trachyphonolites, trachytes and, less commonly phonolites). Biotite and amphibole can be occasionally found while apatite, sphene, opaques and zircon are the most frequent accessory minerals.

K/Ar and Rb/Sr data indicate that the rocks belonging to the Central Province were formed for the most part in the Early Cretaceous (130-120 Ma), in agreement with other alkaline occurrences associated with the eastern margin of the Paraná Basin (chronogroup of 133 Ma). On the other hand, apatite fission track ages point to younger values, which probably are related to major regional cooling episodes following the separation of Africa and South America.

Initial ratios of  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  for the alkaline rocks cover a

narrow interval, 0.70685-0.70790, and are slightly higher than mantellic values, possibly suggesting a more radiogenic source or even the possibility of crustal contamination.

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

Com base em estudos preliminares, levantamento bibliográfico e trabalhos de campo, pretende-se discutir o magmatismo alcalino associado à chamada Província Central (Livieres e Quade, 1987), ocupando a parte centro-oriental do Paraguai, aproximadamente, entre as coordenadas geográficas  $25^{\circ}39'$  a  $26^{\circ}10'$  de latitude Sul e  $56^{\circ}12'$  a  $57^{\circ}45'$  de longitude Oeste.

O acesso a essa área é feito pelas estradas que ligam Assunção a Encarnação e Assunção com a Cidade de Leste, sendo ambas transitáveis durante todo o período do ano (Fig.1).

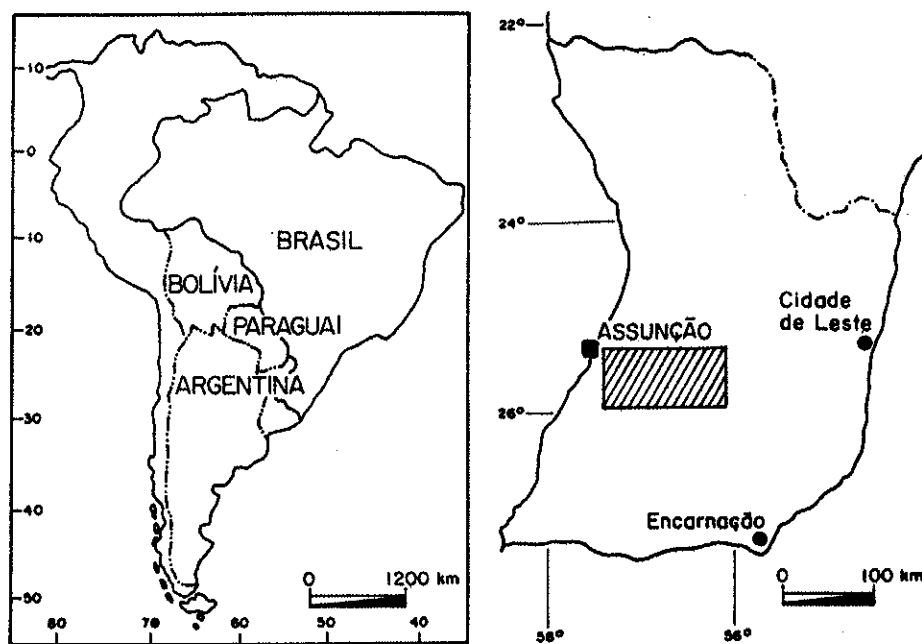


Figura 1 - Mapa de localização da área investigada.

Seu reconhecimento geológico vem de há muito, com destaque na literatura para os trabalhos de Harrington (1950), Eckel (1959), Putzer e Van den Boom (1961) e Putzer (1962). Trabalhos posteriores, tratando da geologia e petrologia dessas ocorrências, foram conduzidos por Palmieri (1973), Palmieri e Arribas (1975), Bitschene e Lippolt (1984) e Bitschene (1987). Data deste último ano o estudo compilativo apresentado por Livieres e Quade (1987), em que são agrupadas as 32 ocorrências de rochas alcalinas até então conhecidas no Paraguai. Valendo-se de evidências notadamente estruturais, esses autores conseguiram enquadrá-las em três províncias distintas: Alto Paraguai, Amambai e Central.

Esta última é reconhecida como o mais denso foco de rochas alcalinas no Paraguai Oriental, reunindo mais de 30 corpos na forma de lavas, "stocks", "plugs" e numerosos diques, distribuídos, principalmente, ao longo do "rift" de Assunção, importante feição tectônica orientada para NW-SE, e se estendendo por cerca de aproximadamente 200 km de comprimento e 20-40 km de largura.

Petrograficamente, as rochas da Província Central exibem enorme diversidade mineralógica e textural, possibilitando, assim, a caracterização de vários tipos litológicos e ambientes distintos de formação (intrusivo, vulcânico e, sobretudo, hipoabissal).

Além disso, as datações radiométricas disponíveis indicam aparentemente para ela dois pulsos diferentes de atividade magmática: 150-100 Ma (Mesozóico) e 61-39 Ma (Cenozóico).

Considerando as limitações, e em alguns casos também o

caráter preliminar das informações existentes, julgou-se conveniente a execução de programa de pesquisa mais detalhado na região, objetivando melhor definição do magmatismo mesozóico, não apenas com vistas a contribuir para a melhoria do conhecimento da sua própria história geológica, como também para uma futura correlação com outras manifestações alcalinas afetando o flanco oriental da Bacia do Paraná.

Para tanto, procurou-se estudar os aspectos texturais e mineralógicos dos diversos tipos petrográficos existentes, realizar determinações de idades radiométricas (métodos K-Ar e Rb-Sr), assim como integrar as informações geológicas obtidas durante o programa de levantamento de campo executado.

## CAPÍTULO 2

### METODOLOGIA

#### 2.1. Trabalhos de campo

Para o desenvolvimento desta etapa do programa vem sendo empregados mapas geológicos da região, na escala 1:500000, bem como cartas topográficas do Instituto Geográfico Militar do Paraguai, nas escalas 1:100000 e 1:50000, com o propósito de localizar as múltiplas ocorrências, definir, quando possível, a geologia dos corpos, e amostrar de modo sistemático os principais tipos petrográficos existentes.

A programação de campo teve início efetivo em setembro de 1987, e contou, além do autor, com a participação de C.B.Gomes (IG-USP), M. Ernesto (IAG-USP), P.Comin-Chiaramonti (Universidade de Palermo, Itália), A.M.C.Clerici e D.A.Orué (ambos da Universidade Nacional de Assunção, Paraguai).

Duas outras expedições à área foram realizadas posteriormente, setembro de 1989 e janeiro 1990. À primeira se incorporou, ao lado dos pesquisadores acima, A.Cundari (Universidade de Melbourne, Austrália), enquanto que a segunda reuniu apenas três elementos (C.B.Gomes, D.Orué e o autor).

Mesmo considerando alguns aspectos particulares da região (ausência de estradas, cobertura vegetal, áreas alagadas etc.), conseguiu-se coletar mais de 300 amostras representativas dos diversos corpos aflorantes, a permitir, assim, uma boa visão do conjunto.

## 2.2. Petrografia microscópica

Do total acima foram selecionadas cerca de 150 amostras, provenientes de diferentes corpos, e preparadas as correspondentes secções delgadas para fins de caracterização mineralógica e petrográfica.

O exame microscópico dessas secções foi feito num aparelho binocular de fabricação LEITZ, modelo Ortholux Pol, do Departamento de Mineralogia e Petrologia.

Ao lado da preocupação com a caracterização propriamente dita, foram separadas aproximadamente 40 amostras para fins de análise de feições ópticas e texturais de minerais das diferentes litologias, recorrendo-se aos métodos consagrados na literatura.

Apenas em algumas variedades faneríticas e porfiríticas foi possível a execução de análise modal, total ou dos fenocristais, empregando-se então contador automático de pontos e a técnica descrita por Chayes (1949); o número de pontos determinados foi sempre superior a 1500. Contudo, os dados obtidos foram utilizados tão somente como elemento de orientação, uma vez que para a classificação propriamente dita aplicaram-se também outros critérios, como modo de ocorrência das rochas (lava, dique, "plug", "stock"), paragênese ou associação dos minerais e feições texturais.

## 2.3. Determinações geocronológicas

Parte das determinações radiométricas foi feita pelo autor, no Centro de Pesquisas Geocronológicas (CPGeo) da

Universidade de São Paulo. As demais provieram da Universidade de Nápoles, Itália, tendo G. Capaldi como principal analista. Em qualquer das situações os métodos usados foram K/Ar e Rb/Sr.

Para o processamento geocronológico foram coletadas amostras de rochas pesando aproximadamente de 1 a 2 kg cada e não apresentando quaisquer evidências visíveis de alteração intempérica.

A sua preparação obedeceu a rotina estabelecida para cada metodologia radiométrica empregada, ou seja, britagem e quarteação do material.

Os concentrados minerais, na granulacão de 60/100 mesh e 100/150 mesh, foram obtidos através de separacão magnética em aparelho Frantz, com emprego eventual de bromofórmio e de placa vibratória. Face à impossibilidade de separacão mineral, algumas amostras foram analisadas em rocha total, na granulacão 35/60 mesh.

A determinacão das idades dos traços de fissão em apatitas foi feita pela "Geotrack International", na Universidade de Melbourne, Austrália. Maiores informacões sobre a metodologia empregada são encontradas em Green et al. (1991b).

### 2.3.1. Análises K/Ar

As determinacões radiométricas em minerais e em rocha total foram efetuadas seguindo-se a técnica descrita em Amaral et al. (1966) e Cordani (1970).

As dosagens de potássio, sempre em duplicata, foram feitas por fotometria de chama em aparelho de fabricacão Micronal, modelo B-262.

As extrações de argônio foram processadas em unidades



de ultra-alto vácuo, com pressões da ordem de  $2 \times 10^7$  mmHg ou inferiores. Para a análise de argônio, recorreu-se à técnica de diluição isotópica, adicionando-se determinada quantidade de  $^{39}\text{Ar}$  ("spike" ou traçador isotópico) ao  $^{40}\text{Ar}$  da amostra. A composição isotópica da mistura resultante foi medida, de forma estática, por espectrometria de massa de fonte gasosa "nuclide". Subtraído o  $^{40}\text{Ar}$  atmosférico contaminante, obteve-se o  $^{40}\text{Ar}$  radiogênico.

O cálculo da idade do material (mineral ou rocha total) foi feito segundo a equação abaixo (Faure, 1977):

$$T = \frac{1}{\lambda} \ln \left( 1 + \frac{\lambda_{\beta}}{\lambda_{\alpha}} \cdot \frac{{}^{40}\text{Ar}_{\text{rad}}}{{}^{40}\text{K}} \right)$$

Os valores das constantes  $\lambda$  e  $\lambda_{\beta}$  têm sofrido algumas correções desde o advento da metodologia K/Ar. Hoje, os mais aceitos mundialmente são os recomendados por Steiger e Jaeger (1978):

$$\lambda = 0,581 \times 10^{-10} \text{ anos}^{-1}$$

$$\lambda_{\beta} = 4,962 \times 10^{-10} \text{ anos}^{-1}$$

$${}^{40}\text{K}/\text{K} = 0,01167 \%$$

### 2.3.2. Análises Rb/Sr

As dosagens de Rb e Sr foram executadas por fluorescência de raios X, utilizando-se aparelho de fabricação Philips, com tubo de molibdênio ou tungstênio. Os padrões analíticos usados foram os de referência PCC-1 e DTS-1. Para as amostras selecionadas efetuaram-se dosagens quantitativas com correção do "background". Para os valores situados dentro do

intervalo 50-500 ppm, os erros estimados são da ordem de 2%. Fora desse intervalo, o erro mostra-se bem maior e, por isto, a dosagem é feita com a técnica de diluição isotópica, com "spikes" enriquecidos em  $^{87}\text{Rb}$  e  $^{87}\text{Sr}$ , conforme preconizado em Kawashita (1972).

As amostras foram atacadas quimicamente em cadinhos de teflon com  $\text{HF}$  e  $\text{HClO}_4$ , a quente, durante 12 horas. Logo após a liberação dos elementos químicos, o Rb e o Sr foram separados pela dosagem da solução em colunas com resinas do tipo DOWEX 50w-x8, 200 a 400 mesh em meio clorídrico.

As análises espectrométricas foram obtidas a partir da deposição em monofilamento e com adição de  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , utilizando-se aparelho de fabricação Varian MAT, tipo TH-5, de fonte sólida, cujas características gerais encontram-se descritas em Torquato (1974) e as modificações introduzidas em Kawashita (1983).

Todos os valores da razão  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  foram normalizados para a relação  $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0,1194$ . As demais constantes usadas nos cálculos das idades são as recomendadas por Steiger e Jaeger (1978).

$$\lambda_{87} = 1,42 \times 10^{-11} \text{ anos}^{-1}$$

Para os cálculos de diluição isotópica empregou-se:

$$(^{87}\text{Rb}/^{87}\text{Rb})_N = 2,5926 \pm 0,0037$$

### CAPÍTULO 3

#### MAGMATISMO ALCALINO NO PARAGUAI ORIENTAL

Atualmente, são conhecidos numerosos centros alcalinos na Plataforma Sul-Americana. Grande parte dessas intrusões encontra-se alinhada preferencialmente junto à borda oriental da Bacia do Paraná, situando-se em território brasileiro ou mesmo uruguaio (Almeida, 1983). Muito pouco se sabe a respeito das manifestações associadas à margem ocidental, com as escassas informações disponíveis apontando para a existência de ocorrências nos territórios paraguaio e boliviano.

Embora o número de investigações científicas e econômicas sobre as rochas alcalinas tenha crescido nos últimos anos, particularmente no Paraguai, o nível geral dos conhecimentos, à exceção de alguns poucos casos especiais, ainda é muito baixo.

As primeiras citações literárias a respeito do tema constam do trabalho de Harrington (1950), reunindo dados geológicos sobre a porção oriental do Paraguai, e promovendo algumas discussões sobre a sua estratigrafia, bem como fornecendo informações sobre a ocorrência de corpos alcalinos na região. Alguns anos depois, Eckel (1959), em programa de prospecção e pesquisa mineral, investigou alguns desses corpos no tocante à sua petrografia e possível existência de mineralizações associadas. Dentro dessa linha de pesquisa, Putzer (1962) efetuou levantamento geológico de alguns maciços e realizou estudos petrográficos dos principais tipos de rochas encontradas, oferecendo, também, alguns dados químicos para as ocorrências

mais relevantes.

Trabalhos posteriores tiveram por objetivo a realização de investigações mais minuciosas sobre algumas ocorrências, como, por exemplo, as da área de Sapucaí (Palmieri, 1973; Palmieri e Arribas, 1975), de Ybytyruzú (Bitschene e Lippolt, 1984; Bitschene, 1987), do Cerro Chirigué (Livieres, 1987; Censi et al., 1989) e do Cerro Acahay (Gallo, 1988; Comin-Chiaromonti et al., 1990), ou ainda, sobre as características geoquímicas gerais ou tipos litológicos específicos da Província Central (Censi et al., 1991; Comin-Chiaromonti et al., 1991a). Todos eles forneceram informações diversas (petrográficas, radiométricas e químicas: mineral e rochas) e promoveram exaustivas discussões sobre a sua petrogênese e evolução.

### 3.1. Esboço tectônico geral

Os principais elementos tectônicos do Paraguai Oriental relacionados com a Bacia do Paraná acham-se indicados na Figura 2.

A região oriental do Paraguai apresenta características estruturais próprias, sendo as direções principais dominantes NS, NW-SE e NE-SW, e, secundariamente, E-W (Fig.3). Cada uma dessas orientações possui interpretação determinada, que trata de explicar a sua origem e evolução.

Alguns autores (Putzer, 1962; Wiens, 1982; PROJETO PAR 005/83, 1986) argumentam que as direções NS correspondem ao evento tectônico mais antigo, ocorrido durante a evolução do ciclo Brasileiro, e que se encontram associadas com a intrusão de grande massa granítica, responsável por fortes deformações, que

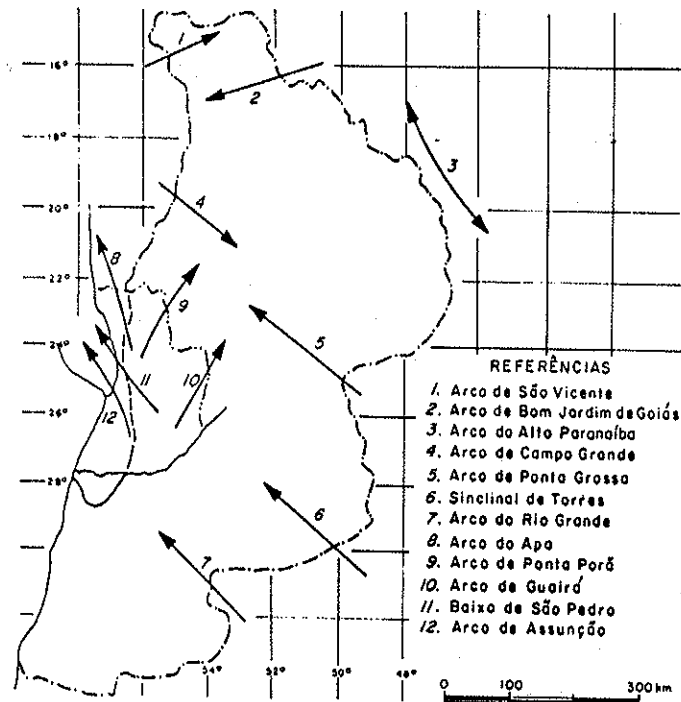


Figura 2 - Mapa do arcabouço estrutural da Bacia do Paraná (modificado de IPT, 1980).

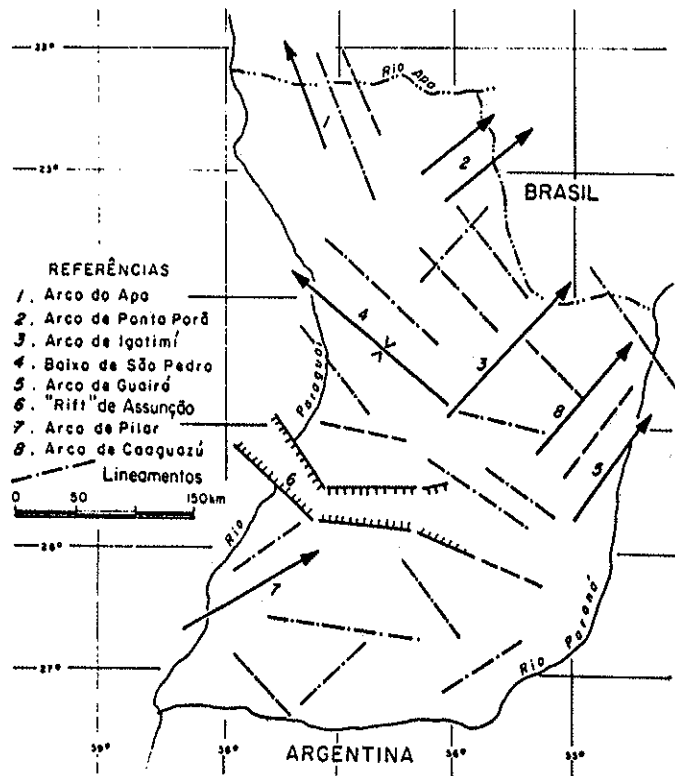


Figura 3 - Mapa do arcabouço estrutural do Paraguai Oriental (modificado de Anschutz Corporation, 1980; Livieres e Quade, 1987).

são controladas por esse padrão de orientação.

Levantamento geofísico regional aponta para a existência de sistema de fraturas e falhas com orientações preferenciais NW-SE e NE-SW. As primeiras parecem estar relacionadas geneticamente à abertura do Oceano Atlântico, que teve lugar durante o Mesozóico, com a sua maior evidência residindo na mega-estrutura localizada na parte centro-leste do país. Tendência similar de orientação também é exibida pelo condicionamento dos diques máficos toleíticos e alcalinos cretácicos. No tocante às segundas (NE-SW), elas são consideradas como pertencentes ou associadas a evento regional atingindo a periferia do embasamento, ocorrido durante a fase tardia do ciclo orogênico Brasileiro, provavelmente no Cambriano-ordoviciano (Degraff, 1985; Mariano e Druecker, 1985; Druecker e Gay, 1987).

Wiens (1982) considera que as orientações EW refletem uma reativação tectônica do embasamento, com pequena atividade magmática básica muito localizada, e sem apresentar expressão das mais consideráveis.

Segue-se, então, que o quadro tectônico do Paraguai Oriental passa a ser governado pelos diversos eventos tectomagmáticos, predominantemente alcalinos, que foram registrados durante o período geológico cretácico-terciário, com a última atividade residindo nas múltiplas intrusões de rochas ultra-alcalinas, de idade entre 61-39 Ma, aflorando nas imediações da cidade de Assunção.

### 3.2. Províncias alcalinas

A erupção de lavas basálticas e a intrusão de dezenas

de corpos alcalinos, que tiveram lugar principalmente no Jurássico-Cretáceo, correspondem a eventos magmáticos da maior importância no Paraguai.

A intrusão desse corpos acha-se tectonicamente condicionada aos traços das grandes estruturas regionais, ou mesmo, às intersecções de feições lineares.

Livieres e Quade (1987), com base na distribuição geográfica, associação tectônica e composição petrográfica dos diversos complexos, propuseram o seu agrupamento em três grandes províncias: Alto Paraguai, Amambai e Central (Fig. 4). Na Tabela 1, encontram-se resumidas algumas informações sobre os mesmos.

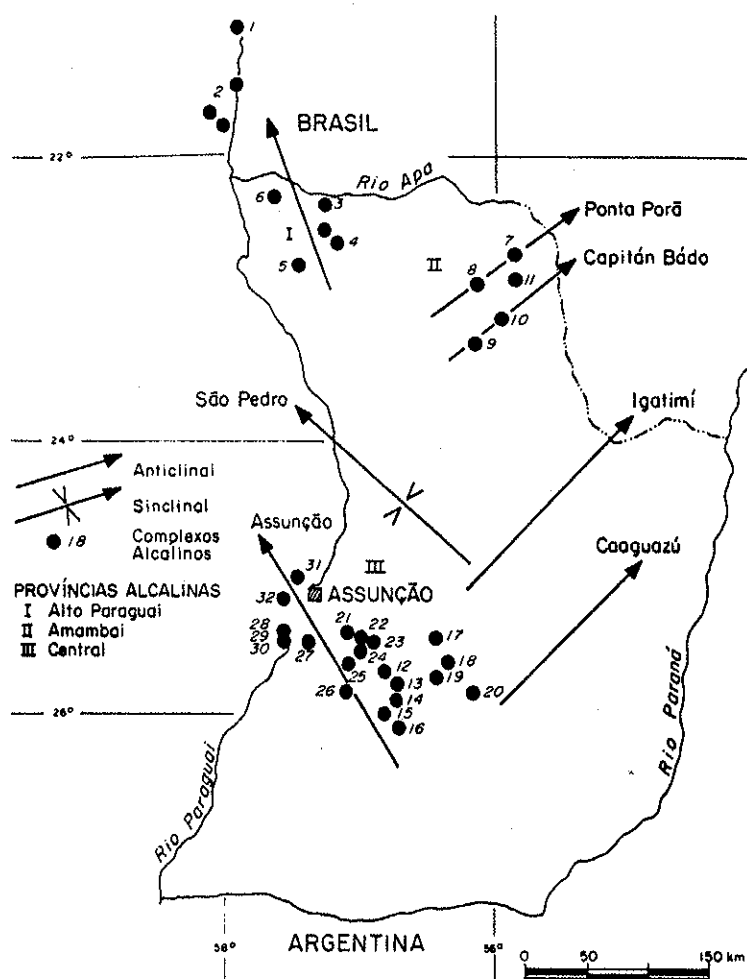


Figura 4 - Distribuição geográfica e associação tectônica dos corpos alcalinos do Paraguai (simplificado de Livieres e Quade, 1987).

Tabela 1 - Características gerais e localização dos corpos alcalinos do Paraguai Oriental (extraído de Livieres e Quade, 1987).

Ocorrência	Localização	Litologia	Forma
<i>PROVÍNCIA DO ALTO PARAGUAI</i>			
01	Fuerte Olimpo	P	Dique
02	Puerto Guarani	F, S, Ns	Pequeno corpo intrusivo
03	San Carlos	F	"Plug"
04	Buena Vista	F	"Plug"
05	Santa Maria	Nb	Dique
06	Centurión	F, S	Diques
<i>PROVÍNCIA DE AMAMBAI</i>			
07	Cerro Chiriguelo	C, Ns, S, Fe	Complexo anelar
08	Cerro Sarambí	Pi, S, T, Fe	Complexo anelar
	Cerro Apuá		"Plug"
	Cerro Peró		Dique
09	Cerro Guazú	Sh, La	"Stock"
10	Cerro Tayay	Ul	"Plug" cônico
11	Ypané	T	Estrutura subanelar
<i>PROVÍNCIA CENTRAL</i>			
12	Sapucaí	F, L, Sd, Ba	Complexo subanelar
13	Potrero Ybaté	Sd, F, S, Br	Estrutura subanelar
14	Ybytymi	Nb	Dique
15	Apyraguá	E	"Stock"
16	Cerro San José	E	"Stock"
17	Cerro Aguapety	Sh, Ns	"Stock"
18	Mbocayaty	Sh, Ns	"Stock"
19	Villarica	Pm, T	Dique e "plug"
	Capiitindy		
20	Ybytyruzú	T, E, S	Complexo anelar
21	Cristo Redentor	R	Corpo intrusivo
22	Santo Tomás	E, Sd	"Stock"
23	Soto Cañete	E	"Stock"
24	Cerro Verá		"Stock"
25	Cerro Porteño	Mt	"Plug"
26	Acahay	Ns, Sd	Complexo anelar
27	Arruaí	Sh, F	"Stock" e "plug"
	Yarigua-á		
28	Nemby	Ba, Ne ?	"Neck"
29	Lambaré	Ba, Ne ?	"Neck"
30	Yacumbú	Ba, Ne ?	"Neck"
31	Cerro Verde	Ba, Ne ?	"Neck"
32	Cerro Confuso	F	"Plug"

Abreviações:

B, basalto; Ba, basanita; Br, brecha; C, carbonatito; E, essexito; F, fonolito; Fe, fenito; Fo, foiaito; L, latito; La, lamprófito; Mt, melatraquito; Nb, nefelina basalto; Ne, nefelinito; Ns, nefelina sienito; P, pórfiro; Pm, pórfiro micáceo; R, riólito; S, sienito; Sd, sienodiorito; Sh, shonkinito; T, traquito; Ul, ultramafito.



Os complexos alcalinos da Província do Alto Paraguai guardam associação com a anticlinal do Apa, que corresponde a uma feição estrutural do tipo intracratônico. Ali, são reconhecidos os seguintes corpos: San Carlos, Buena Vista, Santa Maria e Centurión, na parte oriental; Fuerte Guaraní, Fuerte Olimpo e Cerro Boggiani, na ocidental.

Os dados disponíveis sobre essas ocorrências são demasiado precários. Algumas informações preliminares (OEA, 1975; Wiens, 1986) dão conta da existência de foiaítos, sienitos, fonolitos e traquitos.

Por correlação com as ocorrências brasileiras adjacentes, presume-se que esses corpos correspondam às manifestações alcalinas mais antigas das relacionadas à Bacia do Paraná.

Na Província de Amambai, as estruturas de maior destaque são os anticlinais de Ponta Porã e Capitán Bado. Em particular, os complexos de Sarambí e Chiriguelo mantêm associação com o anticlinal de Ponta Porã, enquanto que as intrusões de Cerro Guazú e Cerro Tayay com o de Capitán Bado. Os outros corpos menores parecem estar ligados a feições lineares menos marcantes (Livieres e Quade, 1987).

Os complexos alcalinos da Província de Amambai mostram grande diversidade litológica. O de Chiriguelo é constituído de um núcleo central de carbonatitos, fazendo contato nas bordas com rochas de caráter fenítico. O conjunto é envolvido por nefelina sienitos, encaixados em mica xistos precambrianos (Livieres, 1987; Censi et al., 1989).

O Complexo de Cerro Sarambí apresenta variação das

mais interessantes, com a parte central, de rochas ultrabásicas de composição piroxenítica, recortada por veios carbonatíticos de natureza sovítica. Periféricamente, ocorrem corpos satélites de composição sienítica e portadores de vários diques radiais de caráter traquítico. Cerro Guazú, por sua vez, contém diques radiais lamprofíricos penetrando rochas sedimentares fortemente silicificadas. A presença de carbonatitos não foi reconhecida na área, mas suspeita-se da sua existência em profundidade, como sugerido por anomalias geofísicas e geoquímicas. Cerro Apuá é um "plug" de traquito, distante poucos quilômetros de Cerro Sarambí (Eby e Mariano, 1986).

Como características marcantes da Província de Amambai citam-se a forma anelar dos complexos, com diâmetro variável de 4 a 10 km, a presença de rochas de afinidade carbonatítica e a ocorrência de diques radiais.

A Província Central ocupa a parte centro-leste do Paraguai Oriental e reúne o maior número de ocorrências alcalinas. Segundo Livieres e Quade (1987), as intrusões encontram-se estreitamente ligadas ao anticlinal de Assunção e Igatimí, e à falha de Acahay. Ainda de acordo com esses autores, os complexos consistem principalmente em essexitos, shonkinitos, sienodioritos, nefelina sienitos, traquitos, fonolitos, basanitos e nefelinitos.

A julgar pelas datações radiométricas disponíveis na literatura (Comte e Hasui, 1971; Palmieri e Arribas, 1975; Bitschene e Lippolt, 1984; Bitschene, 1987), as rochas dessa província parecem representar duas fases distintas de atividade magmática alcalina: 150-100 Ma (Mesozóico) e 61-39 Ma (Cenozóico).

## CAPÍTULO 4

### PROVÍNCIA ALCALINA CENTRAL

#### 4.1. Geologia local

Ocupando área estimada em 8000 km<sup>2</sup>, onde afloram os maciços alcalinos investigados, a porção centro-leste do Paraguai Oriental é constituída, em sua quase totalidade, por uma seqüência sedimentar paleozóica pertencente à Bacia do Paraná e, subordinadamente, por derrames de rochas basálticas em tudo similares àquelas de natureza toleítica da Formação Serra Geral (Fig.5).

##### 4.1.1. Seqüência sedimentar paleozóica

Os depósitos sedimentares, aflorando no flanco ocidental da Bacia do Paraná, estão distribuídos entre o Ordoviciano-Siluriano e o Carbonífero-Permiano.

##### *Ordoviciano-siluriano*

No Ordoviciano e Siluriano teve lugar a formação de sedimentos caracterizando alternância de seqüência transgressiva a regressiva, conforme Ciguel et al. (1987). Esses depósitos estão representados pelos Grupos Caacupé e Itacurubi.

O Grupo Caacupé foi subdividido, da base para o topo, por Harrington (1972) em três formações: Paraguari, Cerro Jhú e Piribebuy.

A Formação Paraguari é constituída predominantemente por conglomerados oligomíticos, quartzosos, e, secundariamente,

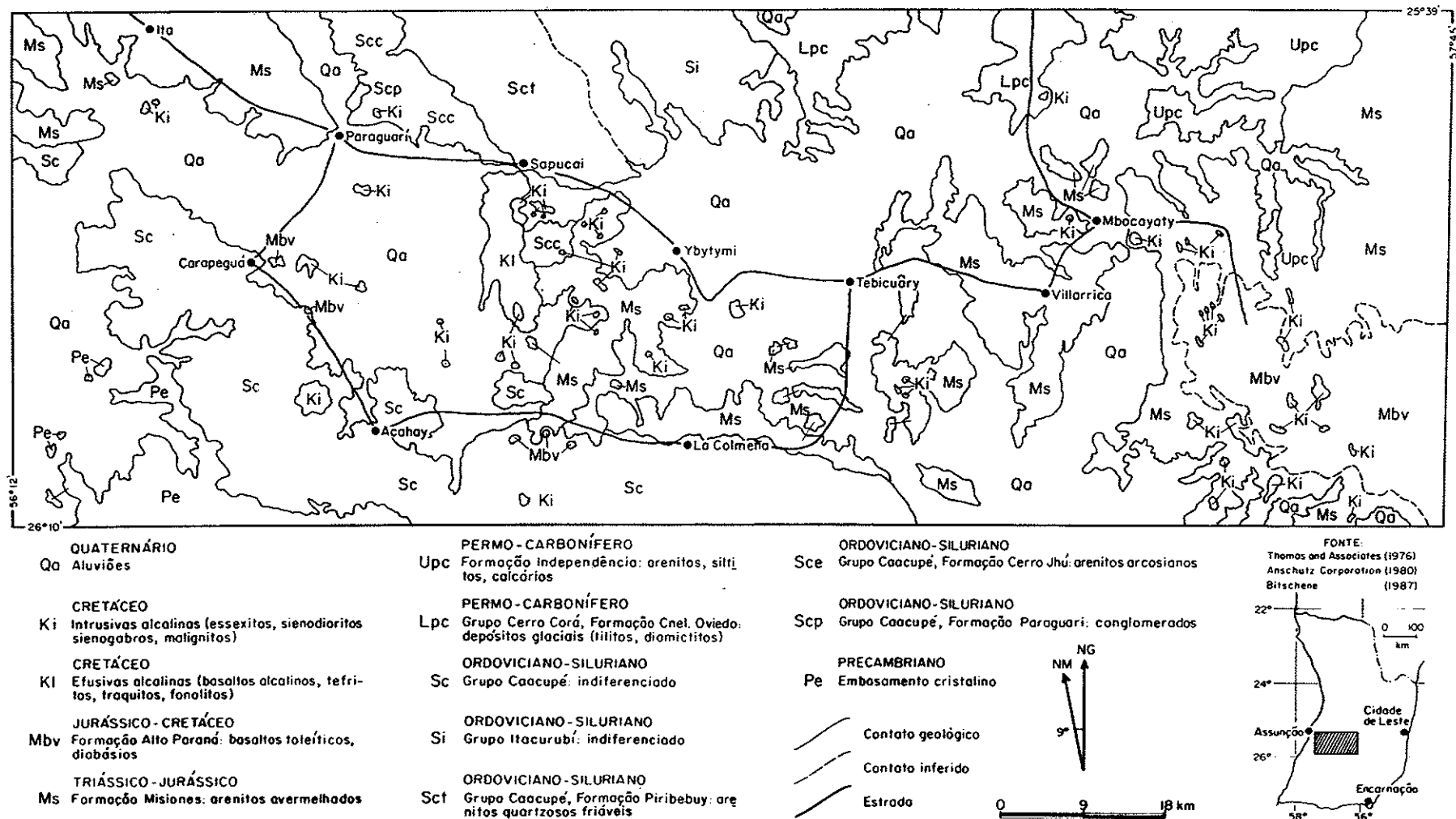


Figura 5 - Mapa litológico da área estudada (compilado de Thomas and Associates, 1976; Anschutz Corporation, 1980; Bitschene, 1987).

por arenitos arcóscios intercalados, de porte métrico, apresentando estratificação cruzada. Esses sedimentos, tendo em vista as litologias e as estruturas deposicionais, denunciam ambiente fluvial passando a planície litorânea.

A Formação Cerro Jhú possui como feição marcante a ocorrência de arenitos arcóscios, de granulometria média a grossa, exibindo estratificação cruzada. O contexto litológico e deposicional sugere ambiente litorâneo, sob influência de correntes costeiras.

A Formação Piribebuy completa a divisão tripartite do Grupo Caacupé. Litologicamente, consiste em arenitos quartzosos, friáveis, sendo a estratificação plano-paralelo formada por bancos de espessura métrica que cortam, a baixo ângulo, a estratificação cruzada. Esse contexto deposicional é indicativo de ambiente litorâneo, com acentuada influência marinha.

As litologias que constituem o Grupo Caacupé caracterizam um processo de transição, e evento transgressivo. Tendo em vista as relações estratigráficas com o Grupo Itacurubi, Ciguel et al. (1987) colocam-nas como situadas entre o Ordoviciano Médio e Siluriano Inferior.

O Grupo Itacurubi (Harrington, 1972), representado pelas Formações Eusebio Ayala (inferior), Vargas Peña (média) e Cariy (superior), possui abundante registro fossilífero, conforme relatado por Worfart (1961), Putzer (1962), Harrington (1972) e Ciguel et al. (1987) entre outros autores. Destacam-se braquiópodos, trilobitas, peliciópodos, cefalópodos, gastrópodos, tentaculitóides, além dos microfósseis.

A Formação Eusebio Ayala é constituída por arenitos finos micáceos, siltitos e, secundariamente, por folhelhos. A

feição deposicional marcante é a estratificação plano-paralelo. Os microfósseis consistem principalmente em braquiópodos e trilobitas, que, contudo, se mostram menos abundantes que na formação intermediária.

A Formação Vargas Peña é composta predominantemente por folhelhos e, em segundo plano, por argilitos micáceos, arenitos finos a muito finos e siltitos. A laminação plano-paralelo é a feição marcante, com presença esporádica de "hummucks". Essa formação é a unidade mais fossilífera e a presença de microfósseis (quitinozoários e acritarcas) indica, segundo Ciguel e Daemon (1989), uma idade Llandoveryana.

A Formação Cariy contém essencialmente arenitos de granulometria média, além de pequenas intercalações de siltitos e níveis argilosos, finamente laminados. Essa unidade possui abundante registro de icnofósseis, indicativos de ambiente marinho, situado entre as marés alta e baixa.

Entre os depósitos pertencentes ao Ordoviciano e Siluriano do Paraguai Oriental, a Formação Vargas Peña se coloca, sem dúvida, como a mais rica em conteúdo fossilífero, sendo o seu ambiente de formação claramente marinho litorâneo.

O conteúdo fossilífero das formações pertencentes ao Grupo Itacurubi aponta para uma idade Siluriana, com Baldis e Hansen (1980) enquadrando-a no Siluriano Inferior. Mais recentemente, Ciguel e Daemon (1989) propõem uma idade Llandoveryana, com base nos microfósseis situados na base do Siluriano Inferior.

As formações que compõem o Grupo Itacurubi são transicionais, com a parte basal gradando para o topo do Grupo Caacupé. Esse contexto estratigráfico leva a sugerir evento

transgressivo a partir do Ordoviciano Superior e posterior regressão durante a parte média e superior do Siluriano Inferior. Com base nas relações estratigráficas e datações de ordem paleontológica, as formações que pertencem aos Grupos Caacupé e Itacurubi situam-se entre o Ordoviciano Médio e o Siluriano Inferior, como referido por Ciguel e Daemon (1989). A distribuição geográfica das diferentes formações acha-se assinalada no mapa geológico em anexo.

### *Carbonífero-permiano*

As unidades formacionais situadas entre o Carbonífero e o Permiano serão discutidas com base em Harrington (1972), e a sua distribuição geográfica mostrada no mapa geológico.

O Carbonífero acha-se representado pelas Formações Coronel Oviedo e Aquidabán (Grupo Cerro Corá), que assentam em discordância erosiva sobre os sedimentos aflorantes do Grupo Itacurubi e parte do embasamento. Por sua vez, o Permiano é constituído pelas Formações San Miguel e Independencia.

A Formação Coronel Oviedo é composta predominantemente por siltitos e ritmitos, além de diamictitos e arenitos em quantidade subordinada. Esses depósitos indicam ambiente flúvio-glacial.

A Formação Aquidabán, a exemplo da anterior, consiste em diversas litologias, sendo reconhecidos diamictitos, tilitos, arenitos, argilitos e conglomerados. É comum a presença de arenitos com intercalações das demais rochas. Seus depósitos possuem cores avermelhadas e arroxeadas, e as estruturas deposicionais sugerem ambiente de sedimentação fluvial e lagunar.

Essas unidades são correlacionadas ao Grupo Itararé

(*sensu lato*), aflorando na borda oriental e setentrional da Bacia do Paraná.

A Formação San Miguel é constituída principalmente de arenitos de granulometria variável e, em menor proporção, de siltitos e argilitos de cores variadas. Esses depósitos caracterizam ambiente fluvial com influência de depósitos marinhos. Ela parece corresponder à Formação Rio Bonito do Brasil.

A Formação Independencia (Permiano) é composta por arenitos de granulometria fina a média, siltitos com níveis argilosos, além de calcários oolíticos e concreções. Possui fósseis vegetais (*Dadoxylon*, *Lycopodiopsis*) e de invertebrados (*Pinzonella*, *Pseudocorbula*, entre outros). As características litológicas e paleontológicas permitem correlacioná-la, no Brasil, com a Formação Corumbataí.

#### 4.1.2. Magmatismo básico-alcálico

Essa atividade, representada pela erupção de rochas basálticas e intrusão de dezenas de corpos alcalinos, corresponde ao evento magmático de maior importância registrado ao longo da depressão tectônica.

#### *Vulcanismo basáltico*

As lavas basálticas, cuja espessura na região não é superior a 500 m, correspondem à parte ocidental do vulcanismo toleítico da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná. Na parte oriental do Paraguai, cobrem superfície aproximada de 100.000 km<sup>2</sup> e se assentam, de maneira uniforme e horizontalmente, sobre sedimentos avermelhados triássicos da Formação Misiones. No



contato superior dos sedimentos com o material magmático, ocorrem, por vezes, pequenas irregularidades, com as camadas da seqüência sedimentar afinadas e confinadas entre as lavas. Esse contato interdigitado entre as duas litologias estaria indicando, pelo menos no começo da erupção, uma atividade policontemporânea. As rochas basálticas ocorrem na forma de derrames e, mais comumente, como diques cortando o pacote sedimentar.

A suíte vulcânica acha-se representada por rochas do tipo basáltico e andesibasáltico, predominantemente afíricas a subafíricas, sendo a sua distinção no campo muito difícil. A análise ao microscópio revela as seguintes fases mineralógicas: plagioclásios, piroxênios (augita e pigeonita), olivina (comumente alterada) e opacos. Esses toleitos se caracterizam pelo conteúdo variável em  $TiO_2$  (<2% e >3%) e elementos incompatíveis (Ba, La, Ce, Zr, P), e mostram diferenças marcantes relativamente às rochas homônimas da Bacia do Paraná em território brasileiro, refletindo provavelmente grau de fusão diferente para fonte mantélica heterogênea (Bellieni et al., 1986; Piccirillo et al., 1987).

#### *Manifestações alcalinas*

Essa atividade engloba grande número de corpos, ocupando quase sempre as partes mais elevadas da região e, topograficamente, aparecendo na forma de cerros, com altura entre 100 e 500 m, ou pequenas colinas. A sua ocorrência é das mais variadas, sendo possível distinguir desde pequenos diques, "plugs", "stocks", lavas, até verdadeiras massas intrusivas de características anelares (p.e., Cerro Acahay: diâmetro de 5 km, borda saliente topograficamente e depressão central). A Tabela 2,

Tabela 2 - Características gerais e localização dos corpos alcalinos mesozóicos da Província Central.

Ocorrência	Localização	Forma	Dimensões	Litologia	Encaixante
01 Cerro Arrua-í	57°21'W/25°25'S	"Stock"	1 km di; Cm 150 m	Sd	Ar
02 Cerro Piedra	57°21'W/25°25'S	"Stock"/dique	0,5 km di; Cm 50 m; lg 2 m	Sd, T	Ar
03 Cerro Santo Tomás	57°06'W/25°24'S	"Stock"/dique	1 km di; Cm 250 m; lg 1 m	E, M	Ar
04 Cerro Porteño	57°08'W/25°19'S	"Plug"/dique	1,5 km di; Cm 150 m; lg 2 m	Tb, T	Ar
05 Cerro Ybypyté	57°11'W/25°45'S	"Stock"	7 km di; Cm 150 m	Osg	Ar
06 Cerro Yarigua-á	57°07'W/25°46'S	"Plug"	1,5 km di; Cm 20 m	F	Ar
07 Cerro Acahay	57°09'W/25°53'S	Complexo anelar	5 km di; Cm 500 m	Ba, Te, E, Ms, Sd, F	Ar
08 Cerro Gimenez	57°01'W/25°51'S	"Plug"	7 km di; Cm 200 m	T	Ar
09 Sapucaí	56°57'W/25°41'S	Complexo subanelar	cobre superfície de 25 km <sup>2</sup> , Cm 450 m	Ba, T, F, E, S, Te	Ar
10 Tte. Martinez	56°51'W/25°41'S	Dique	lg 2 m	F	Ar
11 Cerro Fidel	56°52'W/25°42'S	"Plug"	0,5 km di; Cm 250 m	T	Ar
12 Cerro Yaguaru	56°51'W/25°43'S	Dique	lg 2 m	Te	Ar
13 Catalán	56°54'W/25°44'S	Enxame de diques paralelos	lg 4 a 6 m	T, F, Ba	Ar
14 Cerro Valle-í	56°51'W/25°44'S	"Plug"	0,5 km di; Cm 220 m	F	Ar
15 Potrero Naranjaty	56°51'W/25°46'S	Enxame de diques paralelos	lg 2 a 4 m	T, F, Tr	Ar
16 Arroyo Paso Villan	56°51'W/25°46'S	Dique	lg 1 m	Te	Ar
17 Franco Nú	56°53'W/25°48'S	Dique	lg 0,5 m	T	Ar
18 Iriarte	56°52'W/25°49'S	Dique	lg 2 m	T	Ar
19 Potrero Ybaté	56°56'W/25°47'S	Lava/"stock"/ dique	1,5 km di; Cm 300 m; lg 2 m	Te, E, F	Ar
20 Cerro Medina	56°50'W/25°50'S	"Plug"	1 km di; Cm 200 m	T	Ar
21 Potrero Arce	56°50'W/25°49'S	Dique	lg 1 m	Te	Ar
22 Cerro San José	56°56'W/25°50'S	"Stock"	2 km di; Cm 550 m	E	Ar
23 Cerro Chobi	56°48'W/25°47'S	"Stock"	1,5 km di; Cm 450 m	Ns	Ar
24 Cerrito Canada	56°46'W/25°47'S	"Stock"	1 km di; Cm 120 m	Ma	Ar
25 Cerrito (Colonia L. Vera)	56°43'W/25°50'S	"Plug"	1 km di; Cm 200 m	F	Ar
26 Cerro Itapé	56°34'W/25°51'S	"Plug"	1 km di; Cm 370 m	Ba	Ar
27 Cerrito (Compania Costa Jhú)	56°35'W/25°52'S	"Plug"	0,5 km di; Cm 200 m	Tr	Ar
28 Aquapety Porton	56°28'W/25°35'S	"Stock"/dique	1,5 km di; Cm 200 m; lg 0,5 m	E, Ms	Ar
29 Mbocayaty	56°25'W/25°42'S	"Stock"/dique	0,5 km di; Cm 150 m; lg 0,5 m	Te, Ma	Ar
30 Cerro Capiitindy	56°25'W/25°44'	Dique	1 km di; Cm 300 m	T	Ar
31 Cantera M.O.P.C.	56°16'W/25°45'S	Dique	lg 1 km	L	To
32 Ybytyruzú	56°15'W/25°46'S	Complexo subanelar	Cobre superfície 100 km <sup>2</sup> ; Cm 650 m	Ma, Sd, T, F, Ba	Ar
33 Martinez Cue	56°49'W/25°50'S	Dique	lg 1 m	Te	Ar
34 Estancia Las Rosas	56°49'W/25°50'S	Dique	lg 4 m	Ta	Ar

Abreviações:

Ar, arenito; Ba, basalto alcalino; E, essexito; F, fonolito; L, lamprófito; M, minette; Ma, malignito; Ms, microsienito; Ns, nefelina sienito; Og, olivina sienogabro; Sd, sienodiorito; T, traquito; Ta, traquiandesito; To, toleito; Te, tefrito.

Legendas:

Cm, cota máxima; di, diâmetro; km, quilômetro; lg, largura; m, metro.

uma versão atualizada e mais completa daquela fornecida em Livieres e Quade (1987), reúne informações gerais sobre os diversos corpos, cuja localização é mostrada na Figura 6.

No contato desses corpos com as encaixantes sedimentares regionais, verifica-se, onde possível, a ausência de ação metamórfica de intensidade, capaz de produzir alterações mineralógicas e químicas expressivas, além de deformações consideráveis. Quanto muito, reconhecem-se feições indicativas de recristalização ou silicificação parcial dos arenitos na zona de contato (p.e., Cerro Acahay). Em raras oportunidades (pedreiras), reconhecem-se evidências de contato de natureza tectônica.

Dados geológicos e geocronológicos sugerem que esse magmatismo se deu em dois períodos distintos: Mesozóico e Cenozóico.

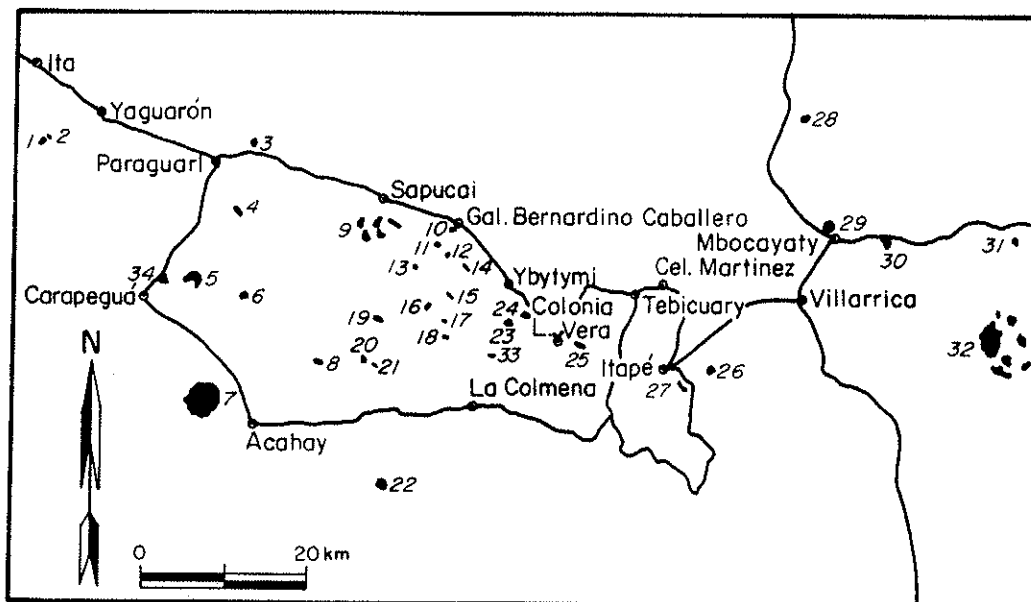


Figura 6 - Mapa de localização dos corpos alcalinos da Província Central (para numeração ver Tabela 2).

O evento de idade mesozóica encontra-se, na sua maior parte, associado discordantemente às formações arenosas silurianas do Grupo Caacupé.

Ele consiste em uma suíte de rochas da maior diversidade e de tendência potássica. A fácies intrusiva reúne rochas de afinidade gábrica, sendo a textura em geral fanerítica hipidiomórfica granular a ligeiramente porfirítica (plagioclásios e/ou piroxênios como fenocristais) junto às amostras mais essexíticas. Subordinadamente, aparecem variedades sieníticas exibindo textura fanerítica de natureza alotriomórfica, e contendo feldspato alcalino como fase mineralógica mais importante. Por sua vez, a extrusiva (lavas e "plugs") é caracterizada pela presença de rochas de afinidade basáltica a traquibasáltica, ao lado de algumas amostras de composição mais tefrítica, com forte tendência porfirítica. Nestas, os fenocristais possuem dimensões milimétricas a centimétricas e são, em sua maior parte, representados por piroxênios, plagioclásios e, mais raramente, olivina e fóides, imersos em matriz afanítica de natureza holocristalina.

Os enxames de diques constituem a feição geológica proeminente associada ao ambiente hipoabissal. Trabalhos de campo na área de Sapucaí, por exemplo, permitiram reconhecer mais de 200 corpos correspondendo a fases distintas de geração (Gomes et al., 1989; Comin-Chiaramonti et al., 1991c,d). Em geral, são verticais a subverticais e de espessura decimétrica a métrica, com valor médio da ordem de 4 a 6 m. Recortam indistintamente as demais rochas alcalinas, como também as sedimentares encaixantes. Sua orientação preferencial é NW-SE, reconhecendo-se, no entanto, duas outras direções, NS e NE-SW. Do ponto de vista

petrográfico, os diques demonstram grande diversidade mineralógica e textural, a permitir a caracterização de vários tipos litológicos: basaltos alcalinos, tefritos, traquiandesitos, traquifonolitos, traquitos e fonolitos. Como tendência geral, essas rochas apresentam forte carácter porfirítico, notadamente as variedades de natureza tefrítica e fonolítica, com mega, feno e microfenocristais dos mais variados minerais. A matriz é comumente afanítica e, preferencialmente, de natureza holocristalina. Como outras particularidades texturais, os traquiandesitos são freqüentemente microporfiríticos, enquanto que os traquitos se mostram porfiríticos e portadores de forte orientação dos cristais tabulares de feldspato alcalino (Gallo, 1988; De Min, 1988; Gomes et al., 1989; Comin-Chiaramonti et al., 1990; ver também Tabela 2).

Nas imediações da cidade de Assunção encontram-se diversas ocorrências de rochas ultrabásicas alcalinas cenozóicas enquadradas por Bitschene et al. (1985) na Província Alcalina de Assunção. Essas rochas aparecem na forma de "necks", "plugs" e diques, penetrando sedimentos avermelhados não muito bem consolidados, que representam o evento de sedimentação "post-rift".

As rochas pertencem a uma suíte reunindo nefelinitos a ankaratritos, com tendência fortemente sódica, e contendo nódulos de natureza mantélica. Em geral, os nefelinitos são rochas escuras, de granulação fina a levemente porfirítica, portadoras de fenocristais de olivina, com dimensões aproximadas de 2 mm, e, subordinamente, de clinopiroxênios. Ao microscópio, os piroxênios são fortemente zonados, além de exibirem coroa de reação. Em geral, os fenocristais de olivina apresentam-se como cristais

anheudrais, sem zoneamento, e com evidências de deformação autoclástica. A matriz é afanítica, consistindo predominantemente em clinopiroxênios, olivina, opacos e nefelina; ocasionalmente, aparecem micrólitos de plagioclásio e vidro intersticial. Micronódulos e presumíveis xenocristais (0,2 até 2 mm) são relativamente comuns (Stormer et al., 1975; Bitschene e Baez Presser, 1989; Comin-Chiaramonti et al., 1990).

Os nódulos de natureza mantélica englobados pelos nefelinitos possuem composição variável de lherzolitos a dunitos. Mineralogicamente, acham-se constituídos por olivina e piroxênios (orto e clino), tendo espinélio como acessório fundamental. A textura é xenomórfica granular. A olivina apresenta deformação lamelar e extinção ondulante, enquanto que os piroxênios são anheudrais, equigranulares, e com abundantes lamelas de exsolução. O espinélio é intersticial e de forma irregular (Comin-Chiaramonti et al., 1986; De Vito, 1987; Demarchi et al., 1989).

#### 4.1.3. Orientação e distribuição dos diques

Vários enxames de diques, preferencialmente de natureza alcalina e de afinidade toleítica máfica, acham-se associados com a depressão tectônica, além de alinhados segundo direções bem definidas. Três grupos de orientação preferencial são reconhecidos. O primeiro, NW-SE, é o mais comum e representativo, estando distribuído pela parte centro-oriental da mega-estrutura acompanhando os alinhamentos estruturais regionais. O segundo, bem menos expressivo que o anterior, tem orientação NE-SW, e merece destaque por estar associado temporal e espacialmente ao primeiro. Considera-se também que tais diques

estejam refletindo, de uma ou de outra maneira, a atividade tectônica da região.

Além dessas direções, citam-se ainda duas outras, NS e EW, correspondendo ao terceiro grupo. A sua frequência é menor e a ocorrência mais isolada. Esses diques parecem fugir dos padrões tectônicos dominantes na região, contudo, a sua formação, muito provavelmente, guarda relação com os outros alinhamentos preferenciais.

Dentre os enxames de diques acima, o primeiro grupo é o que exhibe, adicionalmente à abundância, maior concordância com os padrões regionais, tanto para as rochas de composição alcalina como toleítica. Os contatos desses corpos são geralmente verticais a subverticais, e planares, com fratura reta nas bordas, que, por sua vez, não apresenta paralelismo com a orientação do filão. Tal fato poderia sugerir que os diques foram colocados em zonas submetidas a esforços tensionais e preenchendo, possivelmente, zonas de falhamento normal.

#### 4.2. Domínio tectônico

A porção centro-leste do Paraguai Oriental, de topografia plana, com as elevações não ultrapassando 500 m, é dominada por importante feição estrutural (o "rift" de Assunção segundo Degraff, 1985) se estendendo desde a cidade homônima até as cercanias da Cordilheira de Ybytyruzú (Fig.7).

De acordo as observações e interpretações feitas por Harrington (1950), ela é resultante de movimentos verticais que deram origem a grandes cisalhamentos e deslocamentos de blocos, o que o levou a caracterizar o seu ambiente tectônico como sendo do

tipo gráben.

Putzer (1962) se refere ao Vale de Ypacaraí como a feição de maior importância tectônica na área. Interpreta-a como devida a deslocamentos de blocos associados a um conjunto de falhas paralelas e escalonadas, geradas dentro de ambiente tectônico tensional, alcançando a falha maior comprimento superior a 100 km.

Um estudo geológico e geofísico foi realizado por Degraff et al. (1981) na borda norte da parte ocidental do Vale de Ypacaraí, visando, principalmente, verificar a consistência das hipóteses tectônicas propostas para a sua formação. O primeiro trabalho consistiu em observações regionais e amostragem dos tipos de rochas aflorantes, enquanto que o geofísico envolveu levantamento gravimétrico e magnetométrico segundo perfil perpendicular ao eixo maior.

Os resultados da interpretação dos dados são fornecidos resumidamente na Figura 8, com os dois modelos procurando explicar a origem e evolução do Vale a partir de regime tectônico do tipo força dupla, com a direção principal coincidente com o seu eixo.

No primeiro caso, a força dupla teria originado um sistema de falhas normais, de direção NS, distribuídas "en echelon" ao longo do seu eixo. Um processo de erosão seletiva teria atacado mais rapidamente as rochas afetadas pelo sistema de falhas, levando à configuração atual do Vale. No segundo, a força dupla teria originado ou reativado zonas de cisalhamento, criando, assim, um sistema de falhas ao longo do eixo principal, à semelhança do postulado no primeiro modelo, mas agora de importância secundária. Novamente, uma erosão seletiva teria



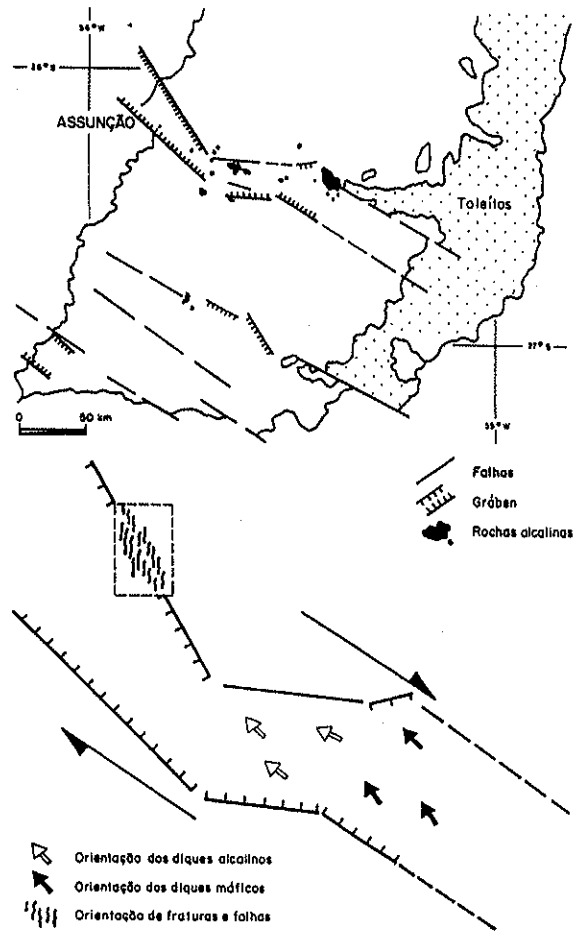


Figura 7 - Posicionamento estrutural do "rift" de Assunção (modificado de Degraff, 1985).

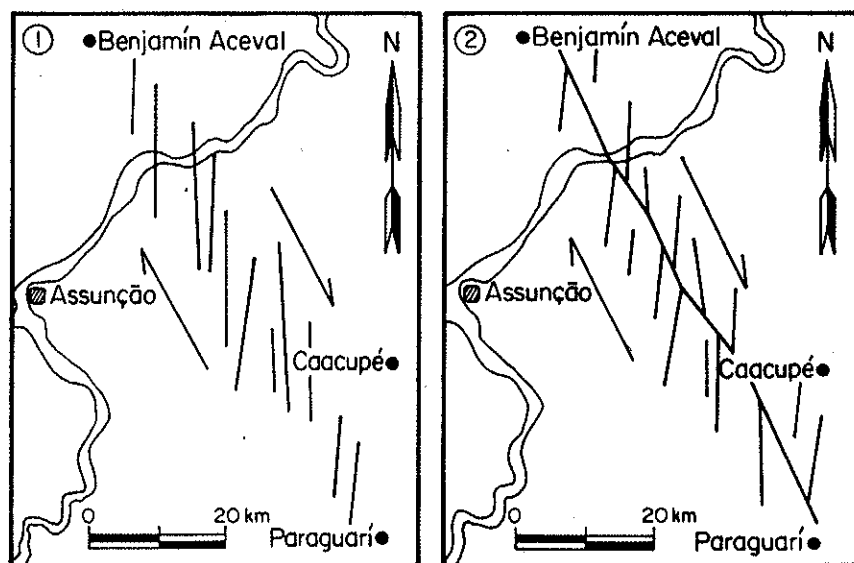


Figura 8 - Modelos explicativos sobre a origem do Vale do Ypacarai (cf. Degraff et al., 1981).

atuado sobre os blocos, deixando suas bordas como duas linhas de falhas.

Esses autores postulam também que o eixo da força dupla deveria mostrar pequeno mergulho para NW. Ambos os modelos seriam capazes de explicar a descida das rochas localizadas a SW da falha.

Mais recentemente, o Vale de Ypacaraí foi reinterpretado por Degraff (1985), que concluiu ser o mesmo parte integrante de uma estrutura maior, cujas características litoestruturais lembram à de uma depressão tectônica do tipo "rift", gerada durante evento de extensão crustal ocorrido no Mesozóico.

#### 4.3. Natureza isotópica e cronologia do magmatismo

Com base fundamentalmente em evidências isotópicas (razão inicial  $R_0 = {}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr}$ ), em idades K/Ar (Tabela 3) e nas características petrográficas das rochas magmáticas existentes no "rift" de Assunção, é possível caracterizar-se ao longo dessa estrutura três regiões distintas.

A oriental, formada em sua quase totalidade por rochas basálticas toleíticas, contém pouquíssimas ocorrências alcalinas.

Dados constantes do trabalho de Rocha Campos et al. (1988) indicam um período de atividade vulcânica, para os toleitos da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná, compreendido entre 160 e 100 Ma. A maior frequência se dá no intervalo 135-130 Ma, enquanto que  $R_0$  varia de 0,70555 a 0,70612 (valores normalizados para 130 Ma).

Tabela 3 - Relação de idades e razão inicial das unidades magmáticas associadas ao "rift" de Assunção.

	Litologia	K/Ar (Ma)	R <sub>0</sub>	Ref.
<b>Magmatismo Toleítico</b>				
Cidade de Leste	B	132,6±16	0,70593	3
Caaguazú	Ab	131,0±6	0,70608	3
Ybytyruzú	B	108,0±6,5	0,70598	3
Ybytyruzú	A	117,7±9,3	0,70607	3
Ybytyruzú	B	111,9±11		3
Ybytyruzú	B	121,4±5,8		3
Ybytyruzú	D	127,0±10		1
Ybytyruzú	D	106,0±10		1
<b>Magmatismo Alcalino Potássico</b>				
Ybytyruzú	Ter	131,9±5	0,70693	3
Ybytyruzú	F	128,8±4,6	0,70761	3
Ybytyruzú	T	125,9±4,2	0,70734	3
Mbocayaty	E	128,2±4,5	0,70717	3
Aguapety Porton	E	132,9±5,5	0,70718	3
Cerro Santo Tomás	E	126,0±4,5	0,70771	3
Cerro Santo Tomás	L	127,9±4,8	0,70720	3
Potrero Ybaté	Sd	127,8±5,6	0,70724	4
Cerro Arrua-í	Sd	132,3±8,4	0,70688	4
<b>Magmatismo Alcalino Sódico</b>				
Nemby	Ne	45,7±1,6	0,70362	3
Lambaré	Ne	48,9±2,2		3
Tacumbú	Ne	41,3±1,0	0,70367	3
Cerro Patiño	Ba	38,8±2,3	0,70385	3
Cerro Confuso	F	55,3±2,1	0,70392	3
Cerro Verde	Ne	57,0±2,3	0,70381	5
Villa Hayes	Ba	58,4±2,2		3
Puente Remanso	Ba	40,6±1,6	0,70384	5
Jardín Botánico	Ba	46,3±2,0		3
Limpio	Ba	50,2±1,9	0,70378	5
San Jorge	Ba	56,7±2,3		3
Tablada Nueva	Ne	46,3±2,3	0,70369	5

**Abreviações:**

A, andesito; Ab, andesibasalto; B, basalto; Ba, basalto alcalino; d, Diabásio; E, essexito; F, fonolito; L, lamprófito; N, nefelinito; Sd, sienodiorito; Te, tefrito; Ter, teralito; Ta, traquito.

**Referências:**

1. Comte e Hasuí (1971); 2. Palmieri e Arribas (1975); 3. Bitschene (1987); 4. Velázquez et al. (1990b); 5. Comin-Chiaromonti et al. (1991b).

As determinações K/Ar feitas por Ritschene (1987) para os basaltos toleíticos da área de Cidade de Leste, Caaguzú e Ybytyruzú, supostamente congêneres com os toleítos acima mencionados, mostram variação de idade entre 132 e 108 Ma e valores de  $R_0$  entre 0,70593-0,70607.

A central já apresenta maior predominância de rochas alcalinas, sendo estas marcadamente de afinidade potássica (Comin-Chiaramonti et al., 1991a). Elas ocorrem de forma muito variada, com os corpos intrusivos representados fundamentalmente por gabros alcalinos e diferenciados. As lavas são comumente de composição basáltica alcalina a tefrítica. Por sua vez, os diques exibem enorme diversidade litológica, reconhecendo-se os seguintes tipos: basaltos alcalinos, tefritos, fonolitos, traquitos, traquiandesitos e fonolitos peralcalinos.

Os valores de idades K/Ar disponíveis para alguns corpos da região indicam maior incidência em torno de  $130 \pm 2$  Ma, registrando-se, no entanto, em alguns casos, dispersões para maior ou menor.

Para alguns corpos da área de Ybytyruzú, casos particulares de uma rocha teralítica e de um traquito, foram obtidas idades  $131,9 \pm 5$  e  $125,9 \pm 4,5$  e valores de  $R_0$  de 0,70693 e 0,70734, respectivamente. Junto a Aguapety Porton, um "stock" de natureza essexítica, os valores foram de  $132,9 \pm 5,5$  Ma e 0,70718. Na área de Paraguari, mais especificamente no Cerro Santo Tomás, cuja intrusão principal corresponde a um essexito, determinou-se idade de  $126 \pm 4,5$  Ma e  $R_0$  de 0,70771. Para o dique de lamprófiro (minette) intrudido em massa essexítica os valores foram, respectivamente, de  $127,9 \pm 4,8$  Ma e 0,70720. Já os Cerros Arrua-í e Potrero Ybaté, ambos constituídos por sienodioritos,

forneceram, respectivamente, idades de  $132,3 \pm 8,4$  e  $127,8 \pm 5,6$  Ma, e valores de  $R_0$  de  $0,70688$  e  $0,70724$ .

A região ocidental contém rochas alcalinas muito particulares. São predominantemente ultra-alcalinas e de afinidade sódica, variando a composição de nefelinitos e ankaratritos. A sua principal feição consiste na presença de nódulos mantélicos de natureza lherzolítica.

As datações radiométricas disponíveis para essas ocorrências permitem situá-las no intervalo 58,4-38,8 Ma (61-39 Ma, cf. Comin-Chiaramonti, 1991b), sendo a maior frequência em torno de 45 Ma. Os valores da razão inicial se mostram bem mais baixos que os anteriores, passando de  $0,70362$  a  $0,70392$  (Bitschene, 1987; Comin-Chiaramonti et al., 1991b).

#### 4.4. Características petrográficas

A partir de evidências texturais, as amostras foram divididas em dois grandes grupos (suítes plutônica e vulcânica), de forma a facilitar o trabalho de descrição e caracterização mineralógico-petrográfica dos litotipos reconhecidos. Empregou-se o termo plutônico para rochas com textura visivelmente fanerítica e ocorrendo com frequência na forma de "stock". Por outro lado, o termo vulcânico foi aplicado fundamentalmente às rochas com textura porfirítica e matriz eminentemente afanítica. Tais tipos de rochas afloram em geral na forma de lavas, "plugs" e diques.

Para fins de caracterização propriamente dita (nomenclatura e classificação), foram consultados diversos trabalhos (Streckeisen, 1973, 1976, 1978; Teruggi, 1980), sem ter-se chegado contudo a resultados plenamente satisfatórios, uma

vez que os esquemas adotados não são necessariamente dos mais aconselháveis para as rochas em questão.

Dessa forma, recorreu-se a um sistema de classificação o mais realista possível e guardando necessariamente concordância com aqueles utilizados em distintos países. Para tanto, fez-se uso da classificação de rochas alcalinas proposta por Sorensen (1974, 1986) e procurou-se seguir as sugestões emanadas da Subcomissão de Sistemática de Rochas ígneas da IUGS (Le Maitre, 1989).

Tomando por base esse esquema de classificação, o estudo petrográfico das amostras (feições texturais, paragêneses minerais, ocorrência e associação no campo) permitiu distinguir os seguintes tipos.

#### 4.4.1. Suíte plutônica

Nessa suíte é possível reconhecer-se variedades litológicas as mais diversas: essexitos, olivina sienogabros, malignitos, sienodioritos e nefelina sienitos. Essas rochas ocorrem na forma de pequenos "stocks" penetrando discordantemente encaixantes sedimentares de natureza arenosa. Texturalmente, são, de modo muito geral, faneríticas de granulação grossa a fina, equigranulares e hipidiomórficas a alotriomórficas. Os constituintes máficos mais comuns são piroxênios, olivina e biotita; junto às fases félsicas, predominam plagioclásios, feldspato alcalino e, menos comumente, fóides (nefelina). Como acessórios aparecem apatita, titanita, opacos e, eventualmente, zircão. A petrografia dessas rochas é mostrada de forma esquemática na Tabela 4.

Tabela 4 - Petrografia esquemática das rochas plutônicas da Província Central.

	ESSEXITOS					OLIVINA SIENOGABROS					SIENODIORITOS				
	30-40%	20-30%	10-20%	5-10%	<3	30-40%	20-30%	10-20%	5-10%	<3	30-40%	20-30%	10-20%	5-10%	<3
OLIVINA					—					—					
PIROXÊNIOS	—					—						—			
ANFIBÓLIOS															
PLAGIOCLÁSIOS		—						—					—		
FELDSPATO ALCALINO				—				—					—		
NEFELINA			—												
BIOTITA					—					—					—
APATITA					—					—					—
TITANITA					—					—					—
OPACOS					—					—				—	

	MALIGNITOS					NEFELINA SIENITOS				
	30-40%	20-30%	10-20%	5-10%	<3	30-40%	20-30%	10-20%	5-10%	<3
OLIVINA					—					
PIROXÊNIOS		—						—		
ANFIBÓLIOS										
PLAGIOCLÁSIOS										
FELDSPATO ALCALINO			—					—		
NEFELINA				—				—		
BIOTITA					—				—	
APATITA					—					—
TITANITA					—					—
OPACOS					—					—

## *Essexitos*

São rochas muito bem preservadas, mostrando apenas uma crosta milimétrica de alteração intempérica, e razoavelmente difundidas na região (Tabela 2). Algumas dessas ocorrências (p.e. Cerro Santo Tomás, Cerro Acahay, Aguapety Porton) estão sendo objeto de exploração comercial. À vista desarmada, exibem grandes variações texturais. A textura é tipicamente fanerítica, com a granulação passando de grossa (1,0 cm) a fina (em torno de 0,8 mm); ocasionalmente, são porfiríticas.

No ponto de vista mineralógico, apresentam notáveis heterogeneidades, sobretudo no tocante à relação máficos/félsicos. As fases máficas possuem hábito melhor definido, prismático para os piroxênios e lamelar para as micas. Por sua vez, os constituintes félsicos são menos desenvolvidos e ocorrem como uma massa xenomórfica de coloração branca-acinzentada.

Ao microscópio, os essexitos são caracterizados por conterem associação mineralógica reunindo clinopiroxênios do tipo augita a diopsídio-augita, plagioclásios de natureza cálcica (labradorita-bytownita), feldspato alcalino, nefelina, biotita e grãos isolados de olivina parcialmente serpentizada; acidentalmente, aparecem anfibólios, sendo, no entanto, que opacos e apatita se constituem nos acessórios mais comuns (Fotomicrografias 1 e 2). As proporções aproximadas dos diversos constituintes nessas rochas acham-se indicadas na Tabela 4.

Os clinopiroxênios são, em geral, equidimensionais, subidiomórficos a xenomórficos, e de tamanho variável (0,8 mm a 1,0 cm). Quando idiomórficos, o hábito é prismático de base hexagonal; no caso dos cristais xenomórficos, as bordas do mineral acham-se muito mal definidas. Em nicóis paralelos, a cor



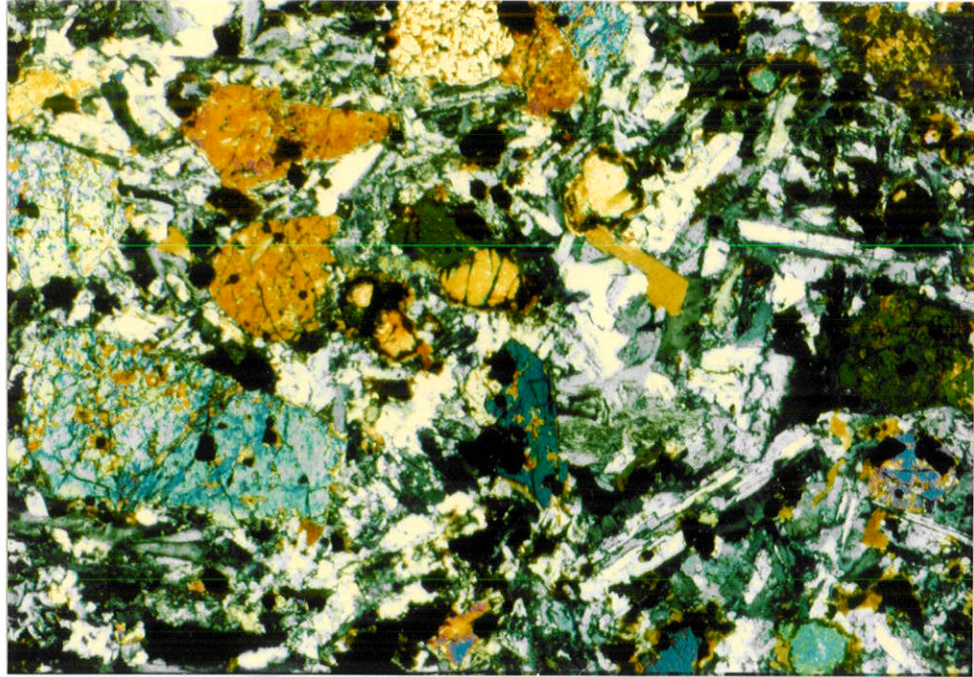


Foto 1 - Essexite. Textura alotriomórfica granular, com as fases máficas, dominantes, representadas por augita, olivina e biotita; as félsicas são constituídas de plagioclásio (hábito tabular com geminação polissintética) e nefelina xenomórfica de cor cinza-azulado. Nicóis cruzados, filtro azul, 25X.

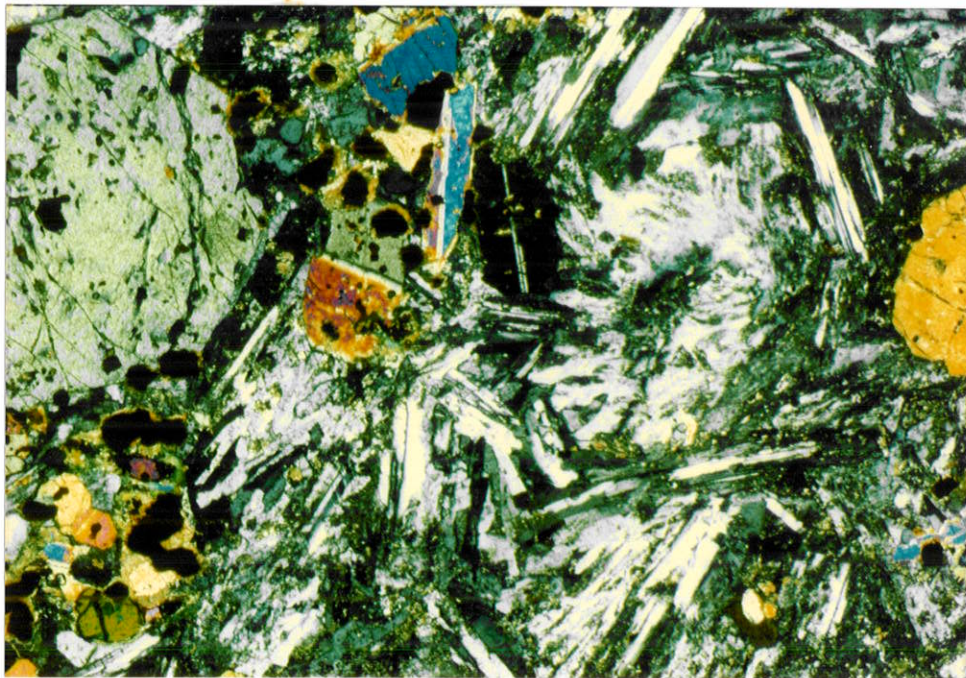


Foto 2 - Essexite. Nota-se textura de tendência mais hipidiomófica, além de maior abundância em minerais félsicos (plagioclásio, hábito tabular com geminação polissintética; nefelina intersticial xenomórfica). As fases máficas consistem em augita geminada e alguns poucos cristais de olivina xenomórfica. Nicóis cruzados, filtro azul, 25X.

grada de incolor a verde claro. O ângulo de extinção (Z-c) varia entre 37° e 45°. Zoneamento está presente, sendo mais comum o do tipo oscilatório.

Os plagioclásios são de natureza cálcica (labradorita-bytownita) e apresentam dimensões razoavelmente homogêneas com os cristais, subidiomórficos e tabulares, atingindo com muita frequência 3,0 mm. Eles exibem geminação polissintética e zoneamento do tipo oscilatório, contínuo normal e "patchy". Além disso, contêm como inclusões pequenos grãos xenomórficos de opacos, cristais subidiomórficos de apatita e, esporadicamente, lamelas de biotita.

O feldspato alcalino é xenomórfico e não exhibe geminação e zoneamento. Às vezes, contêm como inclusões pequenos grãos de piroxênio, plagioclásio e opacos.

A nefelina é invariavelmente xenomórfica e ocorre preenchendo os espaços intersticiais deixados pelos cristais de clinopiroxênio e feldspato alcalino; raramente forma grãos isolados.

A olivina aparece como grãos xenomórficos mostrando evidências de serpentinização ao longo das fraturas e bordas dos grãos.

A biotita acha-se representada por duas gerações distintas. Na primeira, as lamelas são subidiomórficas, de ocorrência isolada e com pleocroísmo marrom claro. Na segunda, o pleocroísmo se mostra mais intenso, adquirindo tonalidade castanho-avermelhado. O mineral é xenomórfico e quase sempre aparece associado e envolvendo as fases opacas.

A apatita se apresenta como cristais idiomórficos de hábito prismático, e tamanho compreendido entre 0,2 e 0,6 mm.

Ocorre como grãos isolados ou na forma de inclusões em outros minerais.

Os opacos constituem grãos xenomórficos aparecendo isoladamente ou como inclusões. Mantém associação estreita com a biotita de segunda geração.

### *Olivina sienogabros*

Essas rochas, caracterizando até agora uma única ocorrência, o "stock" do Cerro Ybypyté (Tabela 2), exibem grande variação na granulação, com as dimensões dos cristais passando de 0,5 a 4,0 mm. Em amostras de mão apresentam cor cinza escuro. A fase máfica dominante é representada por piroxênios, em torno de 30 a 40% da moda (Tabela 4), enquanto que a félsica consiste essencialmente em feldspatos (Fotomicrografias 3 e 4). Em geral, as amostras são homogêneas, de aspecto maciço, além de bem conservadas; mais raramente mostram uma fina capa branca como produto de alteração intempérica.

Microscopicamente, é possível caracterizar clinopiroxênios do tipo augita na forma de grãos aproximadamente equigranulares, com alguns poucos cristais subidiomórficos e de contorno prismático. Em nicóis paralelos, exibem cor verde pálido, com pleocroísmo muito fraco. O ângulo de máxima extinção oscila entre 37° e 46°. Contêm inclusões variadas, sendo as mais frequentes de apatita, opacos e, ocasionalmente, lamelas de biotita e grãos subidiomórficos de zircão.

Os plagioclásios possuem natureza cálcica (labradorita-bywtonita) e se apresentam como cristais subidiomórficos límpidos, de contorno tabular, e dimensões variáveis entre 0,5 e 2,0 mm. Comumente acham-se geminados segundo a lei da albita,



Foto 3 - Olivina sienogabro. Textura tipicamente aliotriomórfica granular. Observam-se cristais de plagioclásio com geminação polissintética e feldspato alcalino, de hábito tabular, geminado segundo a lei de Carlsbad. Além disso, reconhecem-se grãos idiomórficos de augita. Nicóis cruzados, filtro azul, 25X.

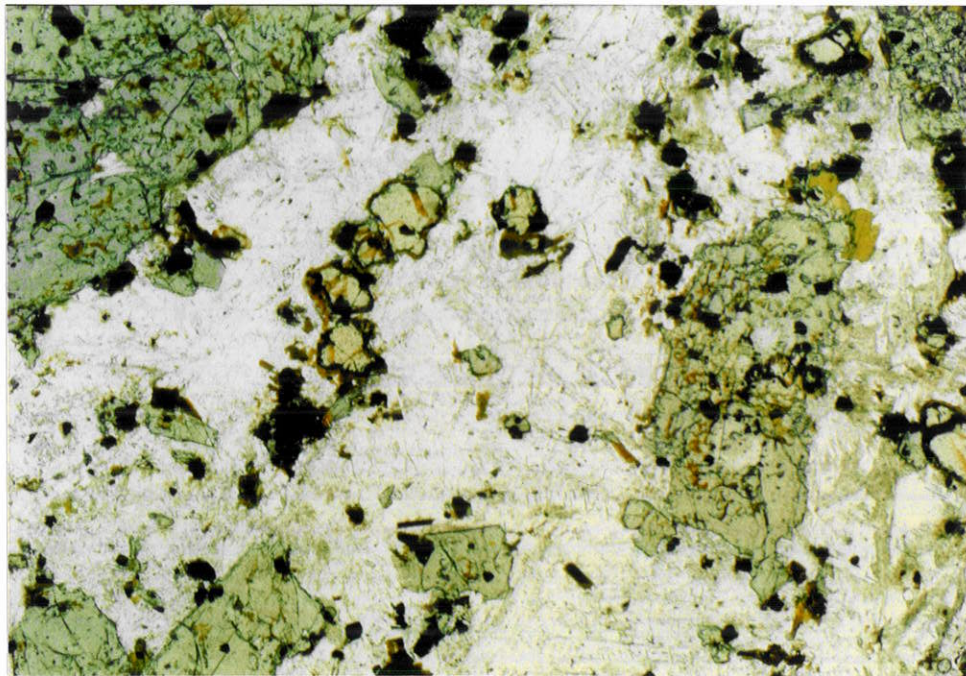


Foto 4 - Olivina sienogabro. Mesma secção em nicóis paralelos, possibilitando a distinção de grãos isolados de olivina, com relevo mais alto, e apresentando bordas de reação. Nota-se também a presença de opacos na forma de inclusões nos piroxênios. O material claro corresponde à fase félsica.

combinada eventualmente com a do periclínio. Zoneamento é variado e até mesmo complexo em alguns casos. O mais frequente é do tipo oscilatório e normal contínuo. Cristais contendo pequenas inclusões de apatita e/ou opacos exibem zoneamento do tipo "patchy".

Feldspato alcalino ocorre em quantidade aproximadamente igual à dos plagioclásios. O mineral é xenomórfico, exceção feita a alguns cristais subidiomórficos de contorno tabular, e raramente geminados. Quando presente, a geminação é do tipo Carlsbad. Os cristais contêm inclusões de apatita, biotita, opacos e, às vezes, de plagioclásio.

A olivina, como grãos idiomórficos a xenomórficos, de dimensões entre 0,5 e 1,0 mm, está presente em proporção muito pequena, em geral inferior a 7%. Os cristais idiomórficos apresentam quase sempre borda de substituição, que pode ser parcial ou mesmo total.

A biotita aparece distribuída entre os demais minerais e frequentemente associada aos opacos. Ocorre como lamelas finas subidiomórficas, ou ainda, como agregados xenomórficos, com dimensões não superiores a 0,5 mm. A coloração é castanho claro a castanho-avermelhado e o pleocroísmo muito intenso. Como acessórios reconhecem-se apatita idiomórfica, agregados xenomórficos de opacos, titanita e, eventualmente, zircão.

### ***Sienodioritos***

Os sienodioritos são comumente encontrados na região de contato com as encaixantes regionais de natureza arenosa. A exemplo dos Essexitos, essas rochas exibem grande variação textural de uma ocorrência para outra, ou mesmo em escala de

afloramento. Raramente se mostram porfiríticas e, quando isto ocorre, os fenocristais são de piroxênios e, em menor proporção, de biotita. O contato com as encaixantes nem sempre é bem definido, apresentando-se em geral recoberto por sedimentos aluviais. As poucas informações obtidas na pedreira localizada no Cerro de Acahay indicam que eles não provocaram ação metamórfica de relevo no contato com os arenitos encaixantes. Por outro lado, em algumas amostras do corpo de Arrua-í essas rochas contêm xenólitos do material encaixante (arenitos).

À vista desarmada, os sienodioritos possuem cor cinzenta, aspecto maciço e composição aparentemente homogênea. Evidências de alteração intempérica são pouco comuns.

Ao microscópio, apresentam uma associação mineralógica constituída basicamente de clinopiroxênios e feldspatos (Fotomicrografias 5 e 6, Tabela 4).

Os clinopiroxênios ocorrem na forma de cristais subidiomórficos, com contorno tabular parcialmente desenvolvido, e, mais comumente, como grãos xenomórficos disseminados entre os plagioclásios. A cor é verde pálido e o pleocroísmo pouco intenso, em tonalidade verde-amarelado. Os cristais subidiomórficos exibem geminação polissintética, combinada em geral com zoneamento do tipo oscilatório, ampulheta e setorial. O primeiro aparece sempre acompanhando o contorno do mineral, podendo se dar das bordas para o centro ou vice-versa. Nos cristais de contorno tabular predomina o segundo tipo, enquanto que nos grãos xenomórficos o zoneamento é setorial, com extinções isoladas e interrompidas em várias partes de um mesmo cristal.

O mineral contém inclusões simples ou muito complexas. No primeiro caso, tem-se apatita, opacos e, eventualmente, zircão;

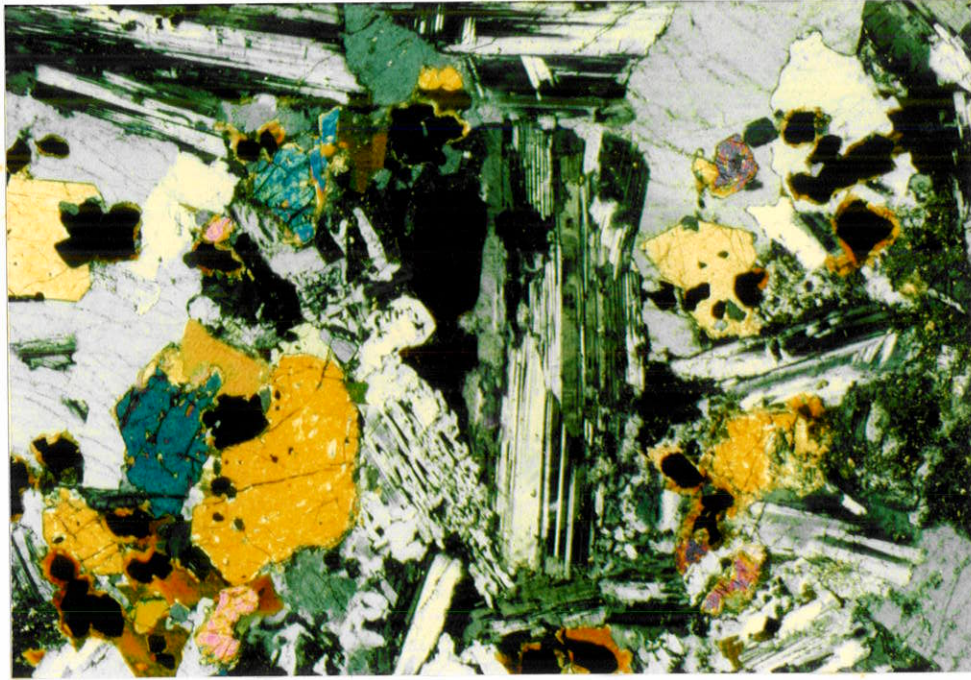


Foto 5 - Siendiorito. Textura hipidiomórfica granular, com plagioclásio subidiomórfico e geminado polissinteticamente. Feldspato alcalino e augita apresentam-se xenomórficos. Nicóis cruzados, filtro azul, 25X.

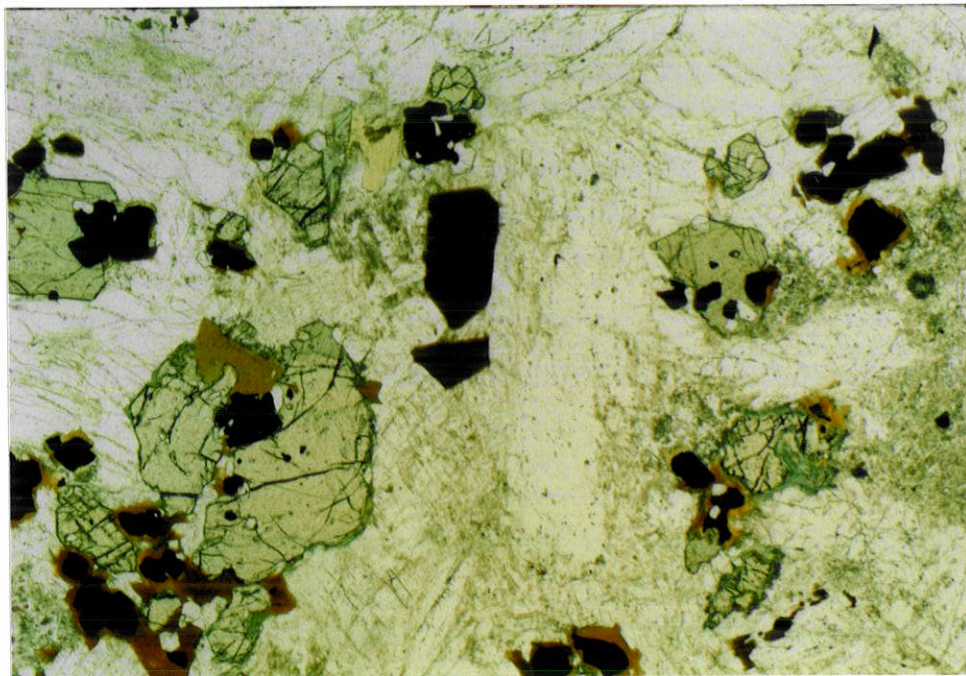


Foto 6 - Siendiorito. Mesma secção em nicóis paralelos. Vê-se melhor a presença de biotita caracterizando duas fases distintas de geração. A primeira, na forma de grãos isolados de coloração mais clara; a segunda, associada aos opacos e dispondo-se ao seu redor, possui coloração mais escura.

já no segundo é possível reconhecer-se um número maior de inclusões poliminerálicas (opacos, plagioclásios, apatita, biotita), cuja ordem de disposição lembra a de uma textura em gota (emulsion-like texture). Esta feição se mostra mais comum junto aos grãos xenomórficos.

Os plagioclásios ocorrem como cristais subidiomórficos a xenomórficos, variando o tamanho de 0,8 a 3,0 mm. Em geral, os cristais apresentam bom desenvolvimento das lamelas de geminação, lei da albita combinada em alguns casos com a do periclínio. Zoneamento se mostra sempre presente, sendo do tipo oscilatório, normal contínuo, ou mesmo, em "patchy"; a sua presença se dá de forma independente ou combinada num mesmo grão. Por outro lado, os plagioclásios estão sempre bem desenvolvidos, com a sua morfologia lembrando claramente uma textura em "sineusis" (syneusis texture), conformada normalmente a dois ou mais cristais. Como principais inclusões contêm grãos de apatita e opacos e, mais raramente, finas lamelas de biotita.

O feldspato alcalino aparece como grãos xenomórficos, com tamanho variável entre 0,6 e 2,0 mm; em geral, não exhibe geminação nem zoneamento.

A biotita se caracteriza por apresentar duas fases distintas de geração. Na primeira, o mineral é subidiomórfico e portador de pleocroísmo castanho-amarelado, enquanto que na segunda ele é xenomórfico, comumente associado a opacos, e exhibe pleocroísmo castanho-avermelhado.

### ***Malignitos***

Malignitos possuem ocorrência restrita, sendo conhecidos, até agora, em apenas três localidades: Cerrito Canada, Mbocayaty



e Ybytyruzú (respectivamente ocorrências 24, 29 e 32 da Fig. 6). Este tipo de rocha é conhecido na literatura como o equivalente mesocrático de nefelina sienitos. Eles exibem textura fanerítica de granulação média a grossa (1,0 até 6,0 mm) e cor branca-acinzentada a escura. O aspecto é maciço e, em geral, apresentam-se bem preservados, com apenas uma fina crosta de alteração intempérica. Em todas as amostras analisadas nota-se visível predomínio da porção máfica sobre a félsica, além de grande variação quanto ao conteúdo de biotita (Tabela 4), que, excepcionalmente, caso do Cerrito Canada, pode chegar até 15% da moda.

Ao microscópio, a rocha revela associação mineralógica tendo como fase dominante clinopiroxênios do tipo augita a egrina-augita e, em menor quantidade, feldspato alcalino (ortoclásio) e nefelina. Como acidentais aparecem biotita e olivina e, na condição de constituintes menores, apatita, titanita, opacos e zircão (Fotomicrografias 7 a 9)

Os clinopiroxênios possuem hábito prismático, caráter idiomórfico a subidiomórfico, e dimensões variáveis entre 2,0 e 7,0 mm, raramente atingindo até 1,0 cm; este último tipo identificado nas rochas de natureza porfirítica. Apresentam cor amarela tendendo a esverdeada ou mesma pardacenta, com as partes centrais dos cristais de tonalidade mais clara.

Zoneamento, do tipo oscilatório, é comum junto aos cristais idiomórficos, enquanto que o setorial ocorre nas variedades de hábito tabular. Geminção polissintética com lamelas simples ou combinadas está sempre presente. Como principais inclusões reconhecem-se as de apatita, zircão, opacos e, mais raramente, de biotita.

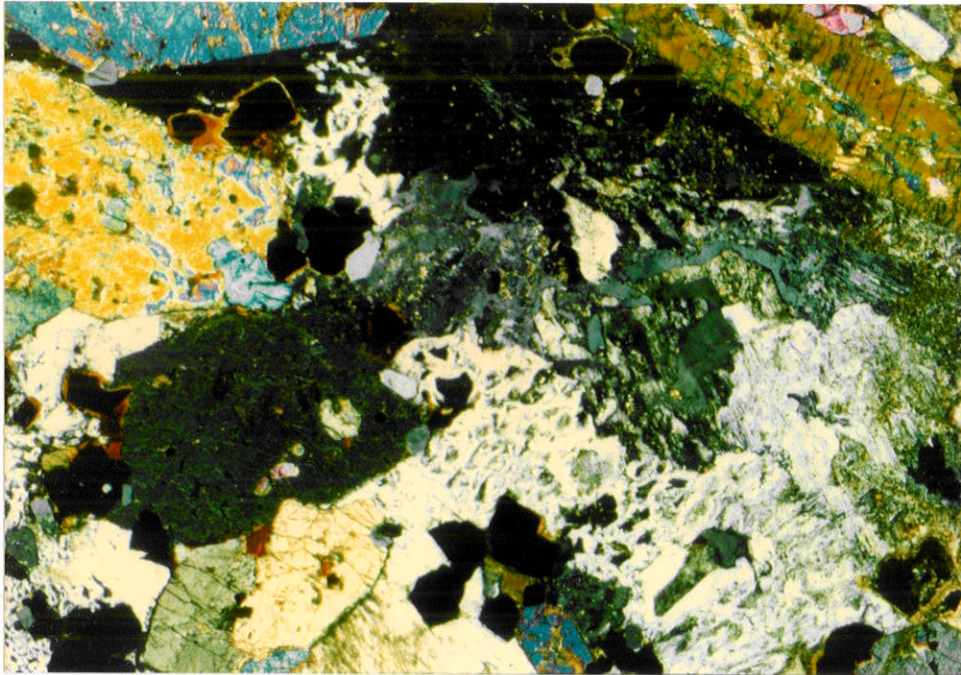


Foto 7 - Malignito. Textura granular aliotriomórfica, com augita subidiomórfica de habito prismático; nefelina (cinza-azulado) e feldspato alcalino (esbranquiçado) mostram-se intercrescidos simplectiticamente. Nicóis cruzados, filtro azul, 25X.

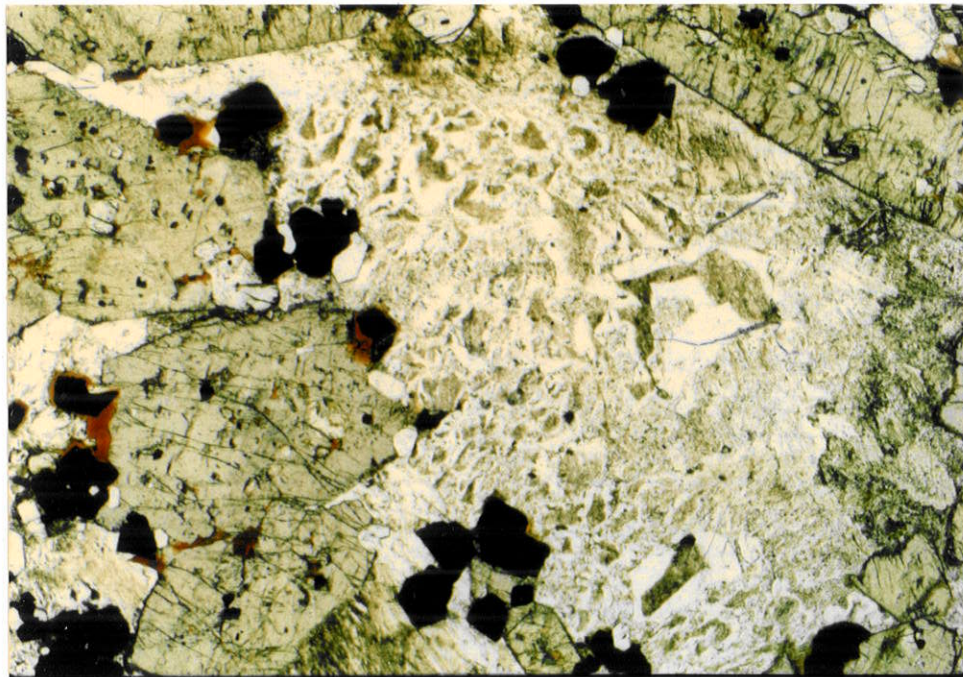


Foto 8 - Malignito. Mesma secção em nicóis paralelos. Augita, de cor amarelo-pardacento e relevo marcante, associa-se a feldspato alcalino parcialmente alterado e de aspecto sujo; a parte mais límpida corresponde a nefelina. Reconhece-se também a presença de opacos bordejando cristais de biotita de cor castanho-avermelhado.

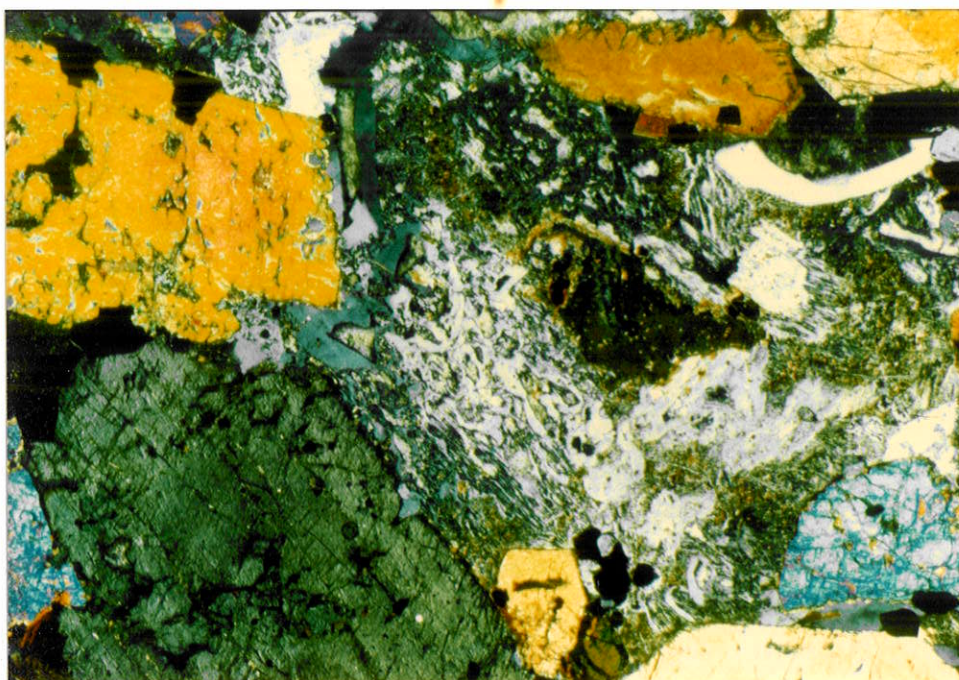


Foto 9 - Malignito. Observa-se melhor o intercrescimento simplectítico reunindo feldspato alcalino (cor clara) e nefelina (cor cinza-azulado) na forma de massas totalmente irregulares. Nicóis cruzados, filtro azul, 25X.

O feldspato alcalino é quase sempre xenomórfico, com tamanho em geral em torno de 2,0 mm, alcançando em condições especiais até 6,0 mm. Os raros cristais subidiomórficos não apresentam geminação e zoneamento; já os grãos xenomórficos exibem zoneamento do tipo "patchy", inclusões e intercrescimento complexo simplectítico (Fotomicrografias 7 a 9).

A nefelina aparece freqüentemente como grãos xenomórficos, isolados, e, em algumas ocasiões, intercrescidos com o feldspato alcalino, mostrando formas as mais variadas (Fotomicrografia 9).

A biotita ocorre como lamelas alongadas disseminadas entre os cristais de piroxênio e de feldspato alcalino. Apresenta cor castanho-avermelhado a marron claro e forte pleocroísmo.

A olivina forma cristais idiomórficos de contorno pseudo-hexagonal e, comumente, mostra-se alterada, com as bordas e fraturas em geral serpentinizadas.

A apatita, ao lado dos opacos, constituem os acessórios mais frequentes; ocasionalmente, estão presentes zircão e titanita.

### *Nefelina sienitos*

Estas rochas ocorrem em geral na forma de veios milimétricos a centimétricos (p.e. Cerro Acahay). Até o momento conhece-se apenas uma ocorrência como corpo intrusivo (Cerro Chobí). Macroscopicamente, exibem cor branca-acinzentada a cinza escuro e grande variação na granulação, atingindo os megacristais de feldspato alcalino até 1,0 cm de tamanho. Comumente, esses cristais alcançam valor médio de 5,0 mm.

A composição mineralógica é marcada pela predominância de feldspato alcalino (ortoclásio) e clinopiroxênios do tipo egirina-augita e, em menor quantidade, nefelina subidiomórfica a xenomórfica; biotita aparece acidentalmente, enquanto que olivina é rara (Fotomicrografias 10 e 11). Como constituintes menores estão presentes apatita, titanita e opacos (Tabela 4).

O feldspato alcalino se apresenta como cristais subidiomórficos de hábito prismático alongado. Geminção é rara, enquanto que zoneamento se mostra freqüente. Além disso, o mineral contém inclusões, sendo as mais comuns de apatita, opacos e titanita subidiomórfica.

A nefelina ocorre como cristais subidiomórficos a xenomórficos e contém inclusões variadas (apatita, piroxênio acicular, opacos e lamelas de biotita). Além disso, exhibe

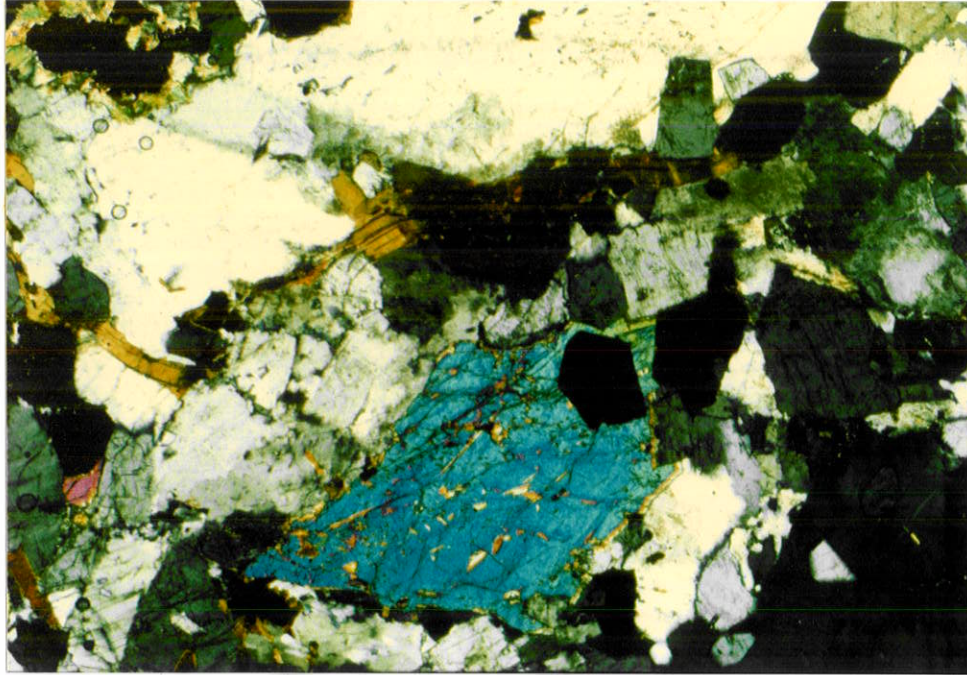


Foto 10 - Nefelina sienito. Textura granular aliotriomórfica com cristais xenomórficos de feldspato alcalino (branco), nefelina subidiomórfica (cinza claro), egirina-augita xenomórfica e biotita lamelar. Nicóis cruzados, filtro azul, 25X.

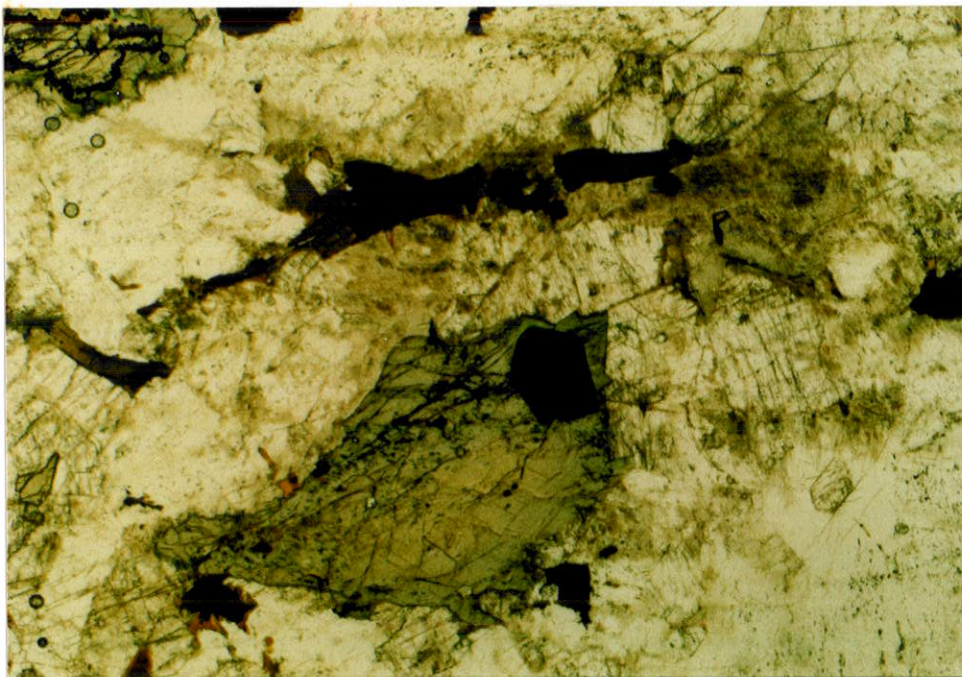


Foto 11 - Nefelina sienito. Mesma secção em nicóis paralelos. Vê-se melhor o cristal zonado de egirina-augita, com a parte central de coloração verde-amarelado e a borda mais esverdeada, além de biotita.

intercrescimento simpletítico com o feldspato alcalino.

Os máficos mais importantes são os clinopiroxênios, que aparecem como cristais subidiomórficos de contorno tabular, ou ainda, grãos xenomórficos com bordas irregulares. Em nicóis paralelos, apresentam coloração amarelo-esverdeado, chegando em alguns casos (cristais aciculares) até verde oliva. O pleocroísmo, de leve a moderado e gradacional, mantém sempre como padrão a presença de tonalidades mais claras junto às partes centrais dos grãos. Textura poquilítica é comum, sendo as principais inclusões de opacos, apatita e titanita.

A olivina se apresenta como cristais xenomórficos, variando o tamanho de 0,4 a 0,7 mm. Em alguns grãos foi possível observar-se textura em coroa, com as bordas dos cristais formadas de opacos e finas lamelas de biotita.

À exceção das ocorrências acima, a biotita aparece preenchendo os espaços entre os cristais de feldspato alcalino. De modo geral, o hábito é laminar e a coloração variando de marron a castanho-avermelhado, com forte pleocroísmo do mesmo tom.

A apatita é o mineral mais frequente dos acessórios, apresentando-se na forma de cristais prismáticos com dimensões entre 0,2 e 0,4 mm. Adicionalmente, estão presentes titanita e opacos, estes como cristais xenomórficos isolados, ou então, associados com olivina e/ou piroxênio.

#### 4.4.2. Suíte vulcânica

As rochas pertencentes à suíte vulcânica ocorrem na área como lavas, que cobrem principalmente as formações arenosas, como "plugs", formando pequenos corpos que se destacam prontamente na

paisagem em razão da sua maior elevação, ou então, e de maneira comum, como diques de dimensões variáveis. Esses tipos litológicos exibem grande diversidade textural e mineralógica. Como tendência geral, mostram notável caráter porfirítico, reunindo mega, feno e microfenocristais predominantemente de piroxênio, olivina, plagioclásio, feldspato alcalino e, em menor quantidade, de biotita e anfibólio; eventualmente, nefelina e leucita estão também presentes. A matriz é afanítica e de natureza essencialmente holocristalina. Aqui se agrupam as seguintes variedades petrográficas: basaltos alcalinos, tefritos, traquiandesitos, traquifonolitos, traquitos e fonolitos. Na Tabela 5 é fornecida a distribuição dos minerais nessas rochas.

#### ***Basaltos alcalinos***

Estas rochas ocorrem na área na forma de derrames, quando então a sua textura é tipicamente microporfirítica de natureza holocristalina, ou ainda, como diques de dimensões variáveis, quando ela se mostra caracteristicamente porfirítica. Como feno e microfenocristais distinguem-se olivina, plagioclásio cálcico (labradorita-bytownita) e clinopiroxênio do tipo augita. A matriz afanítica consiste fundamentalmente em plagioclásio e, em menor quantidade, em piroxênio, além de nefelina intersticial (Fotomicrografias 12 e 13).

Os piroxênios são do tipo augita e aparecem como cristais idiomórficos a subidiomórficos, com as dimensões variando de 0,3 a 0,7 mm. O ângulo de máxima extinção inclinada (Z-c) situa-se entre 37° e 48°. Geminção é comum, o mesmo sucedendo com o zoneamento do tipo oscilatório, que acompanha o contorno do mineral, como indicado pela variação nas tonalidades de cor

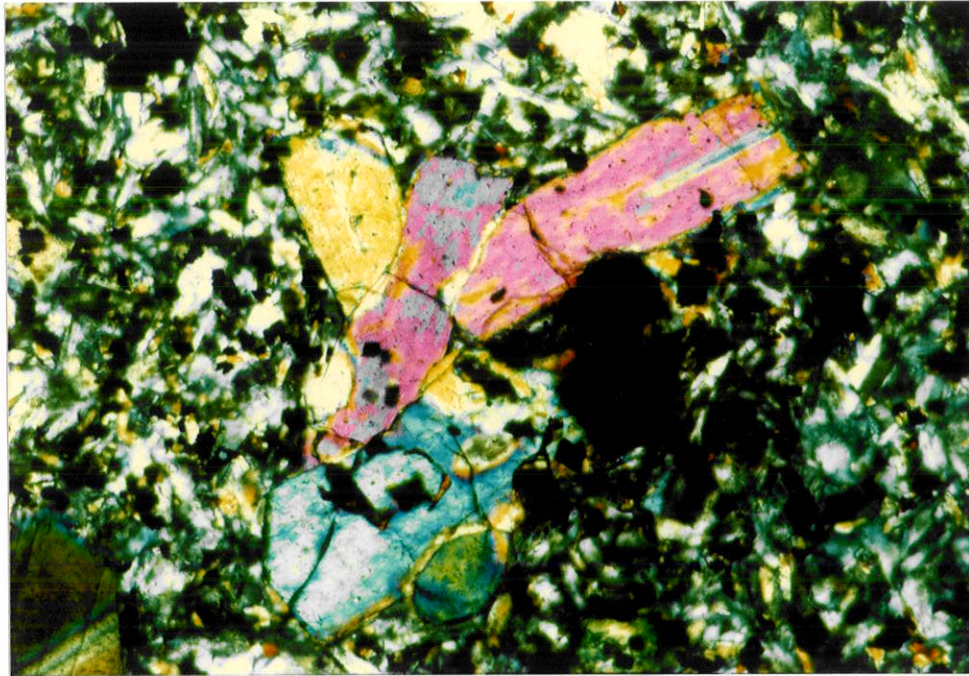


Foto 12 - Basalto alcalino. Textura glomeroporfírica constituída de minerais máficos (augita) numa matriz fina de plagioclásio, augita e nefelina intersticial. Nicóis cruzados, filtro azul, 100X.

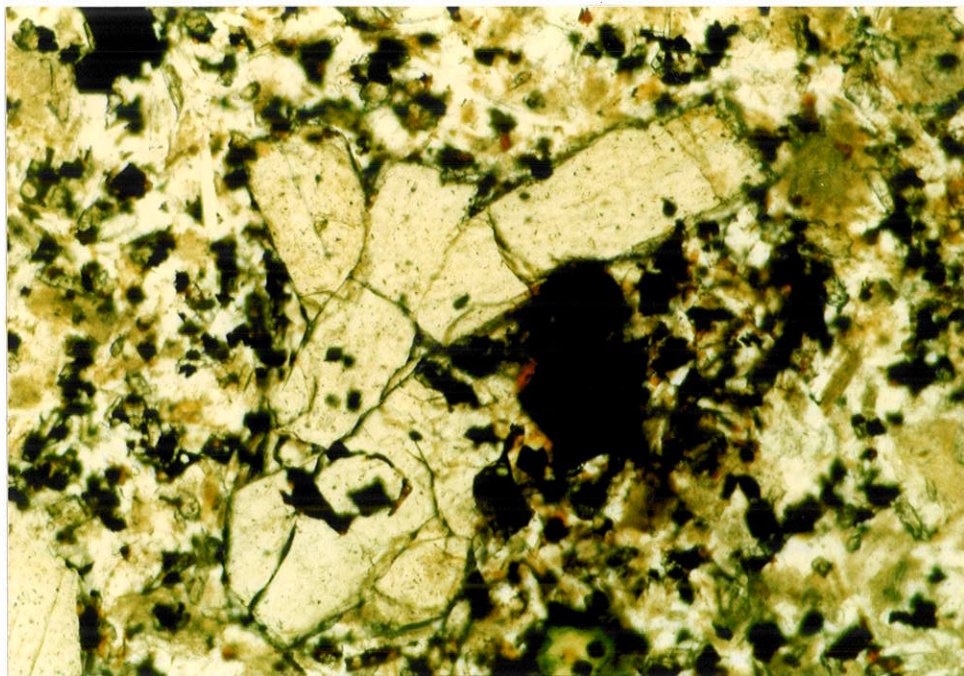
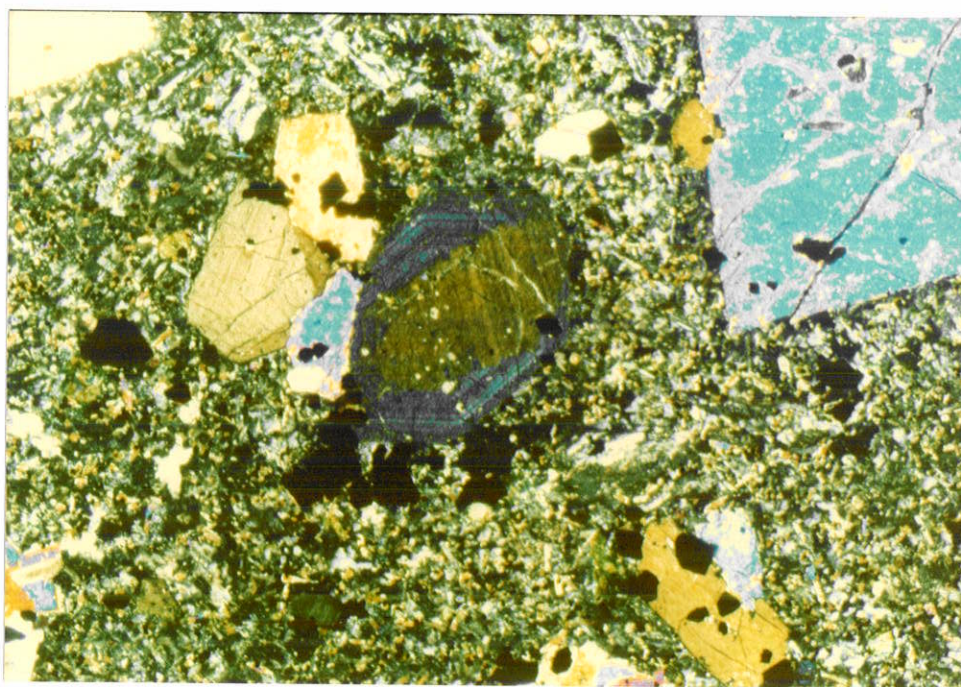


Foto 13 - Basalto alcalino. Mesma secção em nicóis paralelos. O fundo claro corresponde às fases félsicas (predominantemente plagioclásio), os cristais de coloração verde-amarelado pálido a piroxênio e os minerais escuros a opacos (magnetita?).



(Fotomicrografia 14). Uma característica digna de registro nos fenocristais é o de quase sempre mostrarem fenômenos de sobrecrecimento de grãos. Os cristais xenomórficos de piroxênio acham-se restritos à matriz, ocorrendo disseminados entre os grãos de plagioclásio.

Os plagioclásios são os minerais mais abundantes dessas rochas (35 a 45% da moda) e se constituem na sua fase félsica mais importante. Em geral, os cristais são subidiomórficos e com contorno tabular ligeiramente alongado. Geminacão polissintética é frequente e o zoneamento é do tipo oscilatório e, menos comumente, do tipo "patchy". Já os grãos xenomórficos exibem zoneamento setorial que lembra extinção ondulante. Os



**Foto 14 - Basalto alcalino. Textura glomeroporfírica formada por minerais máficos (augita). No centro da foto, observa-se fenocristal de augita com zoneamento combinado: nas bordas do grão do tipo oscilatório; no núcleo, do tipo ampulheta. Nicóis cruzados, filtro azul, 100X.**

plagioclásios contêm como inclusões finos cristais prismáticos de apatita, opacos e, mais raramente, grãos xenomórficos de piroxênio. Em nicóis paralelos, distinguem-se também nas bordas dos grãos e ao longo dos planos de geminação pontos indicativos de alteração intempérica incipiente.

A olivina está presente nessas rochas em concentração inferior a 5%. Ocorre como fenocristais idiomórficos com contorno pseudo-hexagonal; na matriz, como grãos xenomórficos. Apresenta diferentes níveis de alteração, que, por sua vez, se torna mais patente junto aos grãos xenomórficos quando se dá a sua completa substituição por cristais fibrosos de serpentina.

Como constituintes menores foram identificados nefelina xenomórfica intersticial, opacos, apatita e, eventualmente, titanita. Serpentina e carbonato intersticial representam os principais produtos de alteração dos minerais primários.

### *Tefritos*

Essas rochas ocorrem como lavas, cobrindo área não muito extensa (Cerro Acahay, Sapucaí), ou ainda, na forma de diques de dimensões variáveis (Tabela 2). Na sua quase totalidade, exibem textura porfirítica, com o tamanho dos cristais variando de 1,0 a 5,0 mm. Os fenocristais são de piroxênio e plagioclásio e, menos comumente, de biotita e nefelina. A matriz é tipicamente afanítica. À vista desarmada, as amostras exibem cor cinza escuro, aspecto maciço e evidências de alteração intempérica de coloração vermelho-amarelado.

Ao microscópio, os tefritos revelam grande diversidade textural em função do tamanho dos constituintes. Por outro lado, a matriz afanítica reúne essencialmente finas lamelas

plagioclásio e nefelina xenomórfica, além de grãos xenomórficos de piroxênio, apatita e opacos (Fotomicrografias 15 e 16).

Os clinopiroxênios são do tipo augita e ocorrem como fenocristais idiomórficos a subidiomórficos, além de grãos xenomórficos na matriz, totalizando cerca de 30% a 40% da moda. As dimensões variam entre 0,3 e 5,0 mm, com o valor médio para os fenocristais alcançando 2,0 mm. Em nicóis paralelos, os cristais são límpidos e incolores. Por vezes, contêm inclusões de opacos, que lhes confere uma estrutura do tipo "schiller", além de alguns pequenos cristais aciculares de apatita. Zoneamento está sempre presente, sendo do tipo ampulheta, combinado com o oscilatório concêntrico. Por sua vez, os grãos xenomórficos da matriz exibem zoneamento setorial que lembra extinção ondulante.

Os plagioclásios, de natureza cálcica (bytownita-labradorita), ocorrem em porcentagens de 20% a 30% da composição total. Apresentam-se como fenocristais idiomórficos a subidiomórficos na matriz, de contorno tabular, e com dimensões passando de 0,3 a 1,0 mm. Em geral, exibem geminação polissintética e zoneamento oscilatório, que começa no centro dos cristais propagando-se para as bordas, e acompanhando o contorno do mineral. Os cristais subidiomórficos da matriz mostram menor desenvolvimento das lamelas de geminação e o zoneamento mais freqüente é do tipo setorial e "patchy". Como principais inclusões, os plagioclásios contêm grãos xenomórficos de opacos e finos cristais prismáticos de apatita; mais raramente, reconhecem-se também grãos xenomórficos de piroxênio.

A nefelina ocorre em porcentagem não superior a 15%. O mineral é xenomórfico e de ocorrência restrita à matriz.

A biotita forma fenocristais com dimensões variáveis de

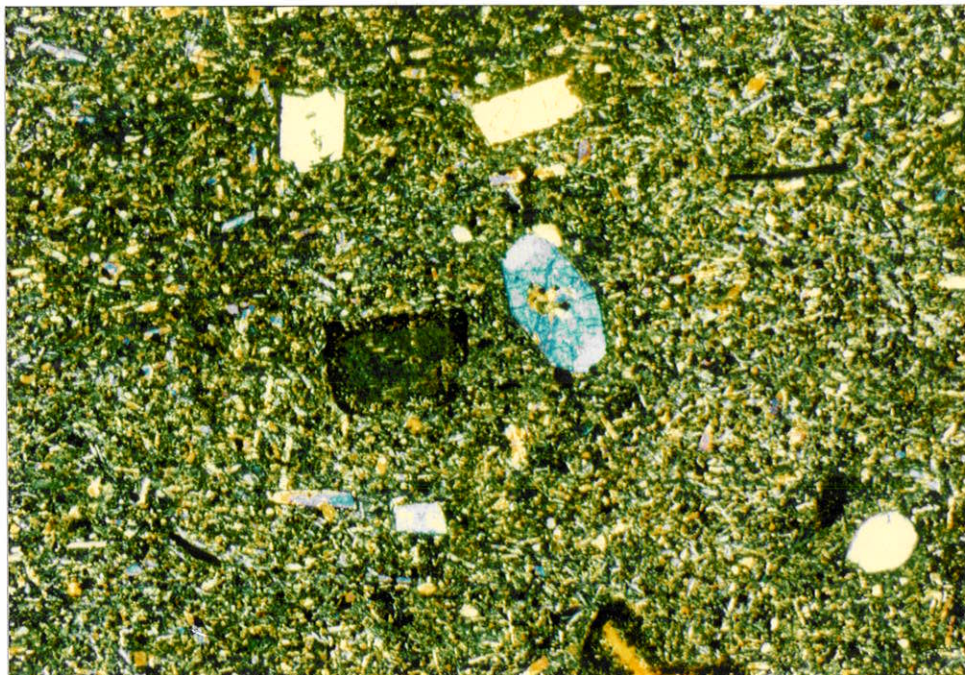


Foto 15 - Tefrito. Textura microporfírica, sendo os microfenocristais em sua maioria de diopsídio-augita e, ocasionalmente, de biotita. A matriz muito fina é constituída essencialmente de piroxênio, plagioclásio e nefelina. Nicóis cruzados, filtro azul, 25X.

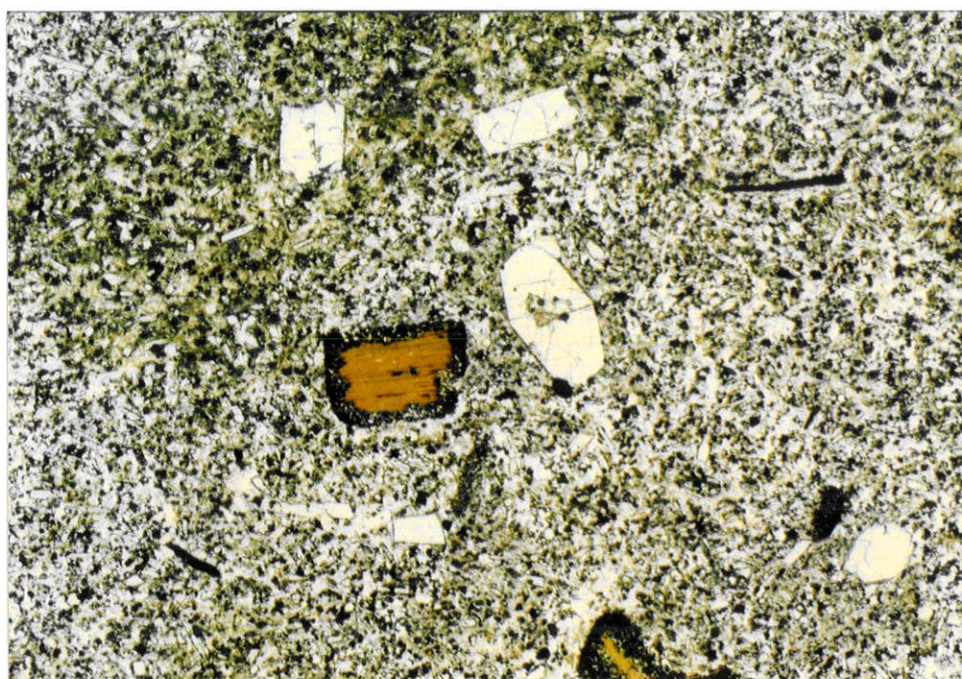


Foto 16 - Tefrito. Mesma secção em nicóis paralelos. O fundo claro corresponde aos constituintes félsicos da matriz. Na parte central da foto, vê-se cristal de biotita parcialmente absorvido, circundado por grãos de opacos.

1,0 a 7,0 mm. Em nicóis paralelos, mostra cor marrom-avermelhado e forte pleocroísmo no mesmo tom. Em sua maioria, os cristais apresentam borda de reação, (Fotomicrografia 16), com opacos ocupando as suas porções periféricas. Em alguns casos, a substituição é completa, podendo reconhecer-se tão somente a forma reliquiar do mineral

Pequenos cristais de apatita idiomórfica e abundantes grãos de opacos disseminados na matriz representam as fases acessórias mais comuns. Adicionalmente, cristais de zircão, na forma de inclusões em alguns grãos de piroxênio, estão também presentes.

#### *Traquiandesitos*

Estas rochas ocorrem na área na forma de pequenos diques, cuja espessura máxima alcança 4 m na localidade Estancia Las Rosas (Tabela 2). Encontram-se ainda associadas a material traquítico, na forma de enxame de diques, como também cortando os corpos intrusivos de composição sienodiorítica (Cerro Acabay, Cerro Arrúa-í e Sapucaí). À vista desarmada, os traquiandesitos possuem granulação fina, que lhes confere caráter invariavelmente afanítico, e se mostram homogêneos e de aspecto maciço. A coloração é cinza escuro, com alguns níveis de alteração intempérica mostrando uma crosta de oxidação vermelho-amarelada

Ao microscópio, exibem textura microporfirítica, sendo os microfenocristais predominantemente de piroxênio; por vezes, eles são de plagioclásio e feldspato alcalino e, mais raramente, de anfibólio e biotita. A matriz reúne, ao lado dos minerais citados, apatita, opacos e, ocasionalmente, titanita (Fotomicrografias 17 e 18).

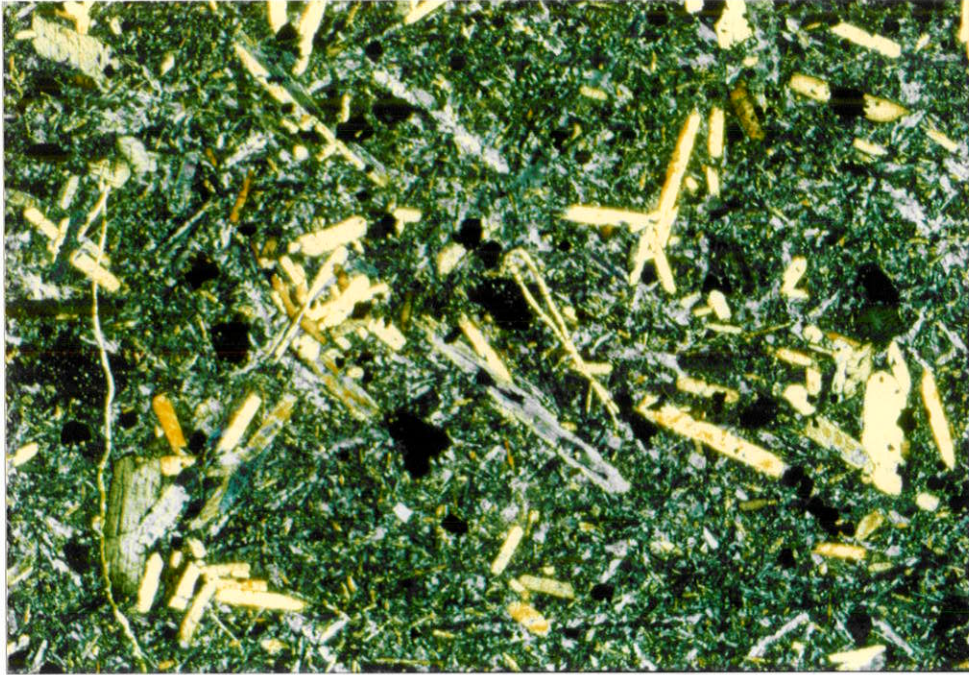


Foto 17 - Traquiandesito. Textura microporfirítica, com cristais de clinopiroxênio (titano-augita) exibindo zoneamento do tipo setorial. A matriz é constituída essencialmente de cristais subidiomórficos de plagioclásio e feldspato alcalino. Nicóis cruzados, filtro azul, 25X.

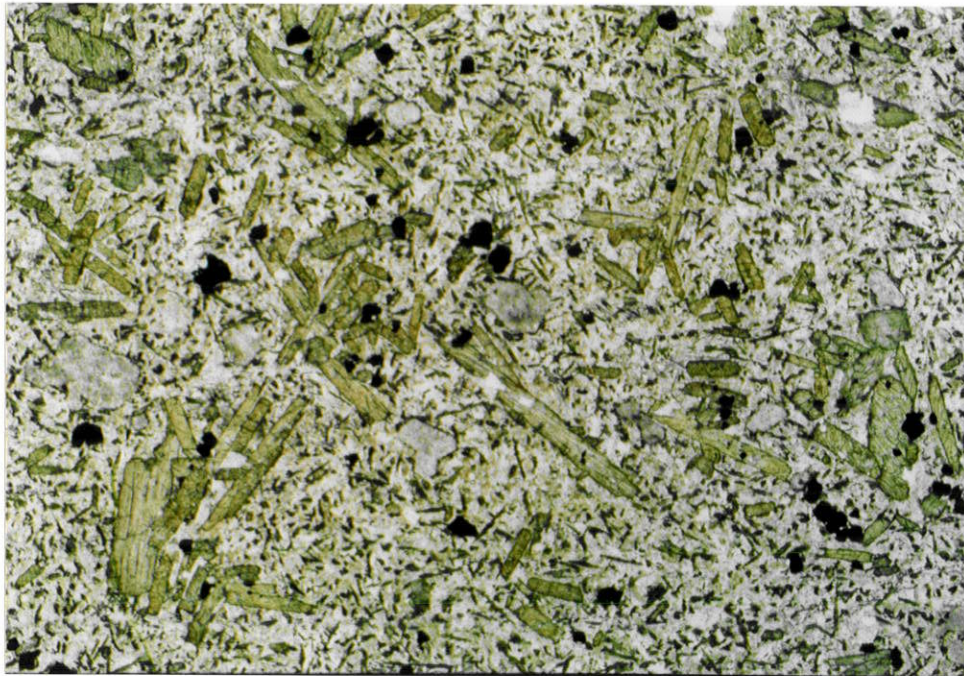


Foto 18 - Traquiandesito. Mesma secção em nicóis paralelos. Nota-se que os microfenocristais apresentam cor marrom claro e os microlitos cor esverdeada; o fundo claro corresponde à fase félsica.

Nos traquiandesitos os piroxênios correspondem à variedade titano-augita. Eles se apresentam como cristais prismáticos alongados, com dimensões variáveis entre 0,3 e 0,8 mm. A cor é marrom violáceo e o pleocroísmo do mesmo tom. Os microfenocristais subidiomórficos, de contorno tabular, exibem zoneamento do tipo ampulheta e sectorial.

A matriz consiste predominantemente em finas lamelas de plagioclásio, de labradorita-andesina, e feldspato alcalino (ortoclásio), em proporções mais ou menos iguais. Ambos os minerais aparecem comumente como cristais subidiomórficos, de contorno tabular, diferindo, no entanto, quanto à natureza da geminação respectivamente, polissintética e Carlsbad. Em geral, se mostram pouco alterados e contêm como inclusões pequenos grãos xenomórficos de piroxênio, agulhas de apatita e opacos. Em algumas amostras, os cristais de feldspato apresentam ligeira orientação subparalela à semelhança da textura traquítica.

Como acessórios reconhecem-se finas lamelas de biotita subidiomórfica, de dimensões inferiores a 0,2 mm, coloração marrom-avermelhada e fortemente pleocróicas, além de cristais prismáticos de apatita e grãos xenomórficos de opacos.

### *Traquifonolitos*

Os traquifonolitos são rochas que ocorrem na área como diques de dimensões variáveis, cortando os arenitos, e outras variedades alcalinas, ou ainda, como "plugs", formando pequenos cerros de elevação não superior a 100 m. Os traquifonolitos têm composição média entre os traquitos e os fonolitos, disso resultando que a sua ocorrência está sempre associada a esses tipos de rochas. À vista desarmada, as amostras apresentam

coloração cinza escuro e aspecto macico. Destaca-se prontamente o seu caráter porfirítico, com os fenocristais, predominantemente de minerais máficos (piroxênios e/ou biotita), distribuídos em matriz afanítica.

Microscopicamente, revelam amplo predomínio de minerais félsicos, confinados sobretudo à matriz, ainda que possam estar presentes como fenocristais (Fotomicrografias 19 e 20).

O feldspato alcalino aparece como cristais subidiomórficos a xenomórficos, variando as dimensões de 0,2 e 0,7 mm. Para os primeiros, o hábito é tabular alongado e a geminação se dá comumente segundo a lei de Carlsbad. Por vezes, esses minerais se mostram isorientados, com o conjunto assemelhando-se à textura traquítica.

Os cristais xenomórficos não possuem geminação, mais, sim forte zoneamento do tipo "patchy" e abundantes inclusões de pequenos grãos xenomórficos de piroxênio e opacos, além de cristais idiomórficos de apatita. O feldspato alcalino é o constituinte dominante dessas rochas, correspondendo a aproximadamente 40% a 50% da moda.

Os clinopiroxênios correspondem a egirina-augita e exibem grande variação quanto à forma e tamanho. Em geral, ocorrem como fenocristais, idiomórficos, com zoneamento oscilatório, ou ainda, como grãos xenomórficos disseminados na matriz leucocrática. Os cristais subidiomórficos, de contorno tabular, mostram quase sempre zoneamento setorial e, mais raramente, do tipo ampulheta. Em nicóis paralelos, esses minerais são de cor verde a verde-amarelado com pleocroísmo do mesmo tom, com as partes centrais dos cristais invariavelmente de coloração mais clara. Os clinopiroxênios mais desenvolvidos (fenocristais



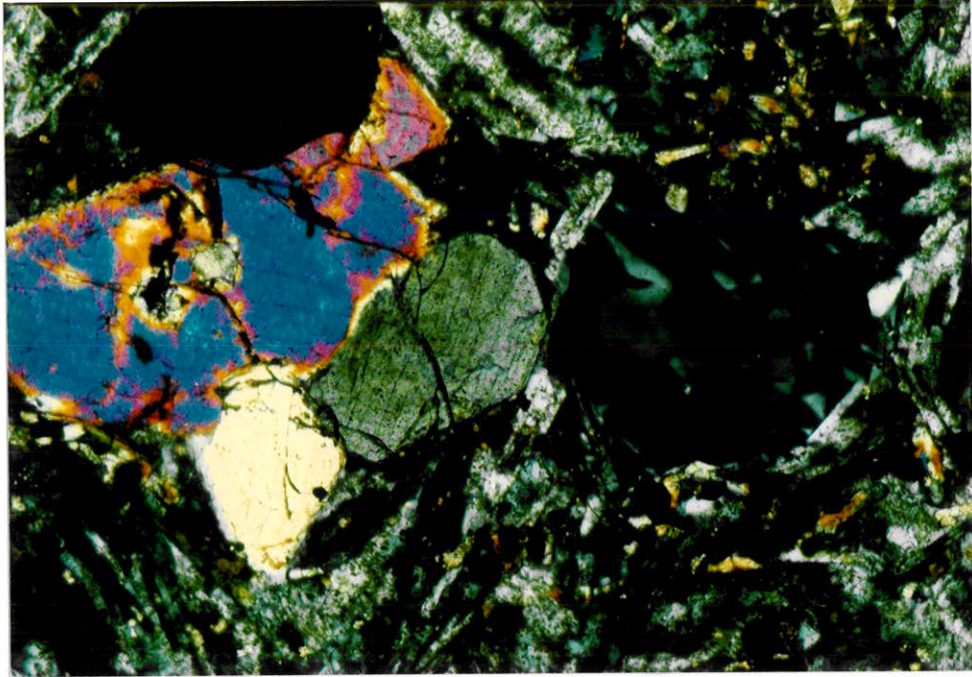


Foto 19 - Traquifonolito. Textura porfírica representada por cristais subidiomórficos de augita e leucita geminada imersos em matriz fina de feldspato alcalino subidiomórfico. Nicóis cruzados, filtro azul, 100X.

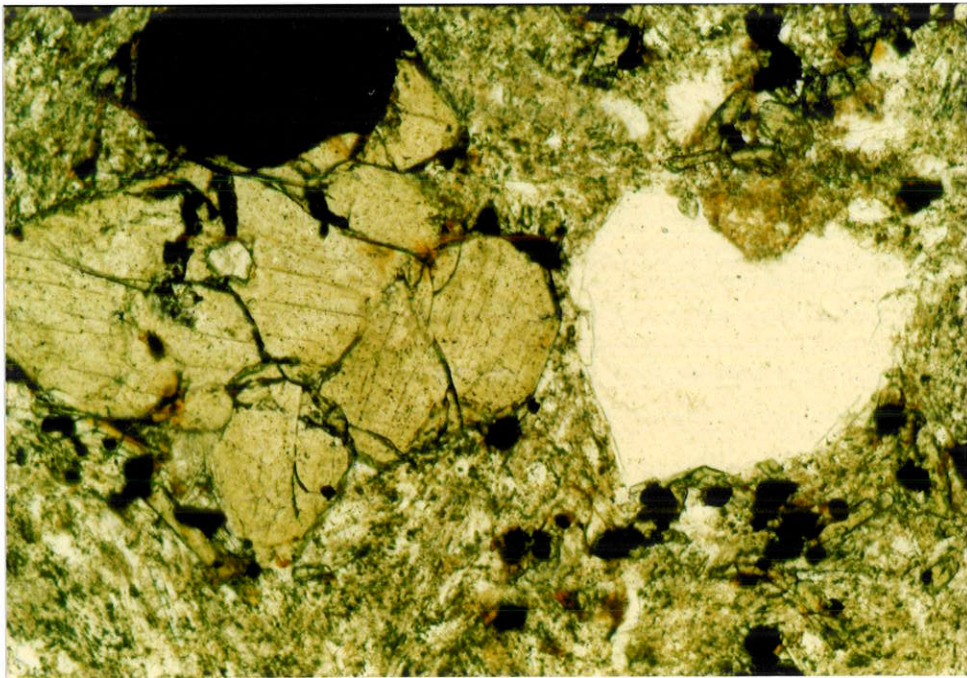


Foto 20 - Traquifonolito. Mesma secção em nicóis paralelos. O piroxênio (egirina-augita) da matriz mostra coloração esverdeada e o material claro corresponde ao cristal de leucita.

idiomórficos) apresentam inclusões de apatita e, por vezes, também de zircão. Os grãos xenomórficos da matriz possuem pleocroísmo verde oliva, estando as bordas dos cristais substituídas por minerais opacos. No todo os clinopiroxênios representam mais de 25% da rocha.

A fase feldspatóidica acha-se representada, na matriz, por nefelina xenomórfica, e, como fenocristais, por leucita idiomórfica, com o tamanho dos cristais variando de 0,4 a 2,0 mm. Estes têm como principal característica óptica a geminação do tipo polissintético em várias direções, a conferir-lhes aparente extinção ondulante. Em nicóis paralelos, os cristais são límpidos e incolores. Alguns fenocristais de leucita mostram incipiente zeolitização, que se manifesta a partir das bordas dos cristais, ou então, ao longo dos planos de geminação. Por sua vez, a nefelina tem ocorrência restrita apenas à matriz. A concentração de ambos os minerais feldspatóides nessas rochas é, em geral, baixa, não excedendo a 10% da moda.

Em todas as amostras estudadas a biotita aparece como fenocristais. O hábito é lamelar e o pleocroísmo castanho-avermelhado. Alguns cristais apresentam borda de reação, dando-se então a formação de opacos. Inclusões de apatita, opacos ou mesmo de grãos xenomórficos de piroxênio são também comuns.

Como principais acessórios reconhecem-se apatita, opacos, biotita e, ocasionalmente, zircão.

### **Traquitos**

Os traquitos são rochas relativamente comuns na área, que ocorrem como "plugs" ou diques (Tabela 2) cortando as encaixantes e demais tipos de rochas alcalinas que lhe são associados. À

vista desarmada, eles exibem textura porfirítica, com os cristais atingindo dimensões inferiores a 4 mm, aspecto maciço, e coloração cinza a cinza escuro no tipo mais afanítico. O traquito porfirítico da localidade do Cerro Capiitindy contém restos de xenólitos ultramáficos de tamanho médio não superior a 2 cm.

Ao microscópio, o seu caráter porfirítico se revela prontamente, com a matriz evidenciando forte orientação dos cristais tabulares, alongados de feldspato alcalino associada ao crescimento subparalelo dos piroxênios. Além dos minerais já mencionados, ocorrem ainda anfibólio, biotita, nefelina, sodalita, apatita, titanita e opacos (Fotomicrografias 21 a 23).

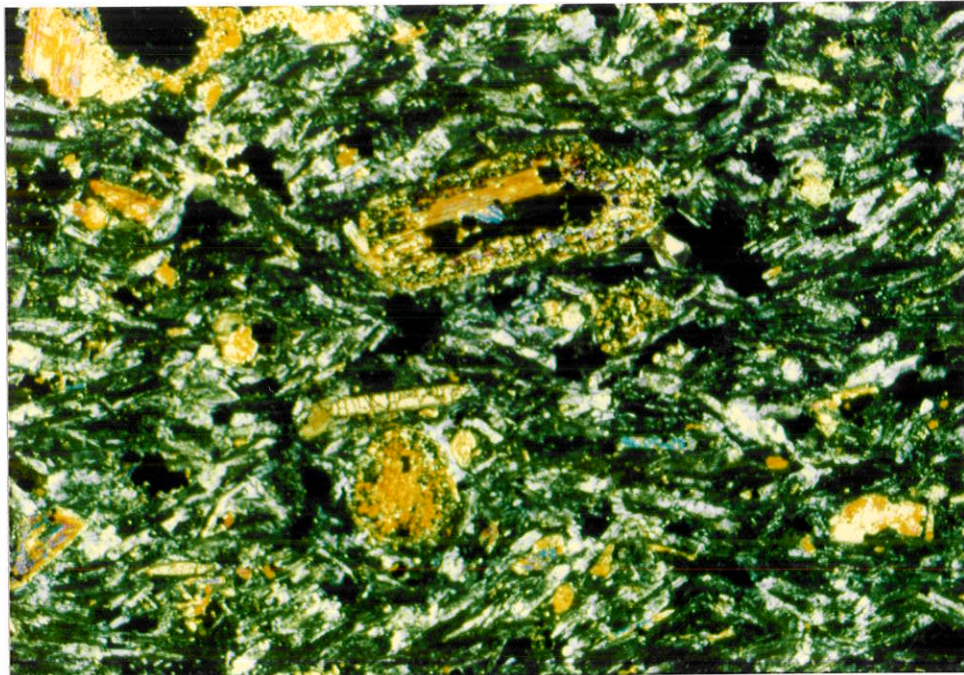


Foto 21 - Traquito. Textura traquítica com crescimento paralelo a subparalelo de feldspato alcalino de hábito tabular e egirina-augita prismática. Na parte central da foto (superior e inferior) nota-se a presença de xenocristais de anfibólio do tipo hornblenda, gerando borda de reação rica em piroxênio e opacos. Nicóis cruzados, filtro azul 25X.

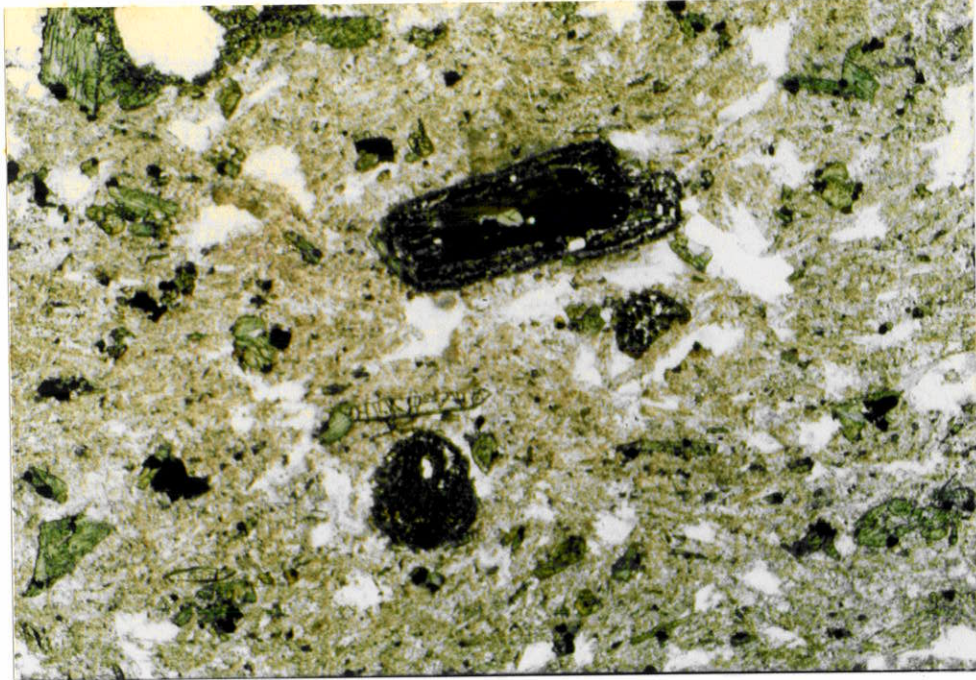


Foto 22 - Traquito. Mesma secção em nicóis paralelos. Observa-se melhor os cristais de egrina-augita de cor esverdeada. A massa irregular de coloração marrom claro corresponde a cristais de feldspato alcalino parcialmente alterados e os espaços, claros e límpidos, são de sodalita.



Foto 23 - Traquito. Textura traquítica e porfírica, como indicado por cristal idiomórfico de hornblenda (parte central da foto) com geminação e zoneamento oscilatório. A matriz é constituída de fedspato alcalino subidiomórfico de hábito tabular e alguns poucos grãos subidiomórficos de piroxênio. Nicóis cruzados, filtro azul, 25X.

O feldspato alcalino, componente fundamental dessas rochas, acha-se invariavelmente isorientado e apresenta alteração incipiente, como indicado pela presença de minúsculos pontos nas bordas dos cristais e ao longo dos planos de clivagem, responsável por seu aspecto sujo (Fotomicrografia 22). Ele é pouco zonado, mas quando a feição se faz presente, o zoneamento é do tipo oscilatório normal, acompanhando as bordas do mineral, ou ainda, do tipo "patchy", que é reconhecido pela extinção irregular do mineral. Os cristais mais desenvolvidos contêm inclusões de apatita idiomórfica e agulhas de clinopiroxênio de pleocroísmo verde-amarelado.

Os clinopiroxênios, do tipo egirina-augita, ocorrem tanto como fenocristais, quanto como micrólitos disseminados na matriz; as dimensões variam de 0,2 a 0,7 mm. Eles apresentam pleocroísmo em tonalidades de verde, verde-amarelado para os fenocristais e verde oliva para os micrólitos. Zoneamento é do tipo oscilatório, com o padrão normal indicando coloração mais clara junto às partes centrais dos cristais. Ocasionalmente, zoneamento setorial pode também estar presente. Inclusões de apatita prismática idiomórfica e de grãos xenomórficos de opacos são comuns, principalmente junto aos fenocristais.

Anfibólios (hornblenda) ocorrem como fenocristais, em porcentagens inferiores a 5%, e, em alguns casos, como xenocristais, variando suas dimensões de 0,2 a 1,0 mm. O pleocroísmo é forte e de cor marrom.

Quando na condição de xenocristal (Fotomicrografias 24 e 25), eles exibem textura em coroa, com a variação mineralógica indicando diferente grau de reação do mineral. Na parte mais interna da inclusão, os cristais de anfibólio, hornblenda de cor

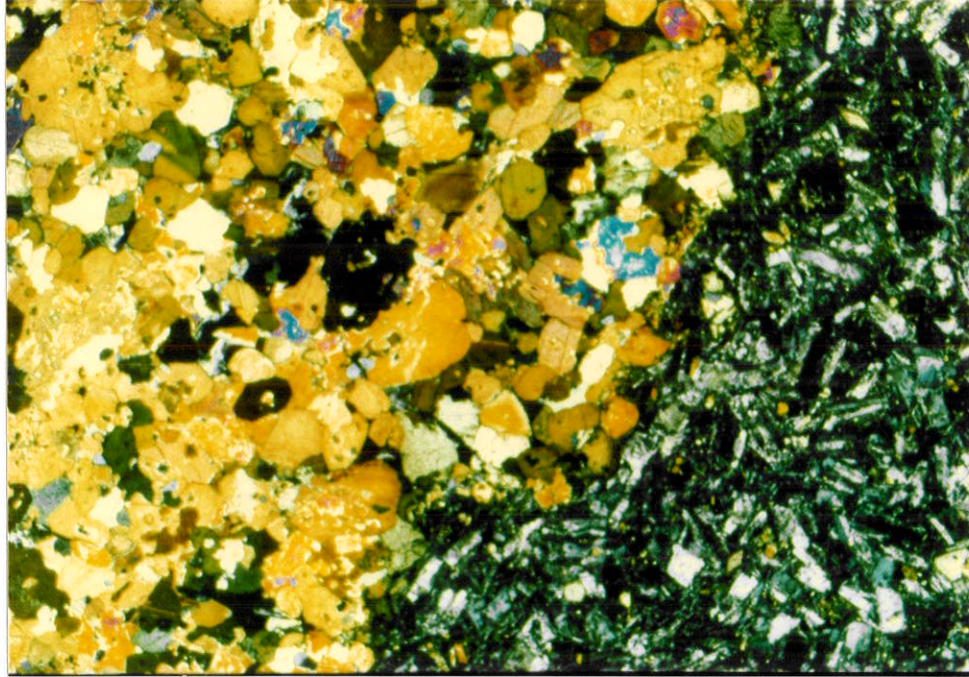


Foto 24 - Xenólito. Zona de contato entre a rocha hospedeira (traquito) e xenólito de hornblendito, à esquerda da foto. A mineralogia básica reúne hornblenda, além de piroxênio do tipo augita a diopsídio-augita. Nicóis cruzados, filtro azul, 25X.

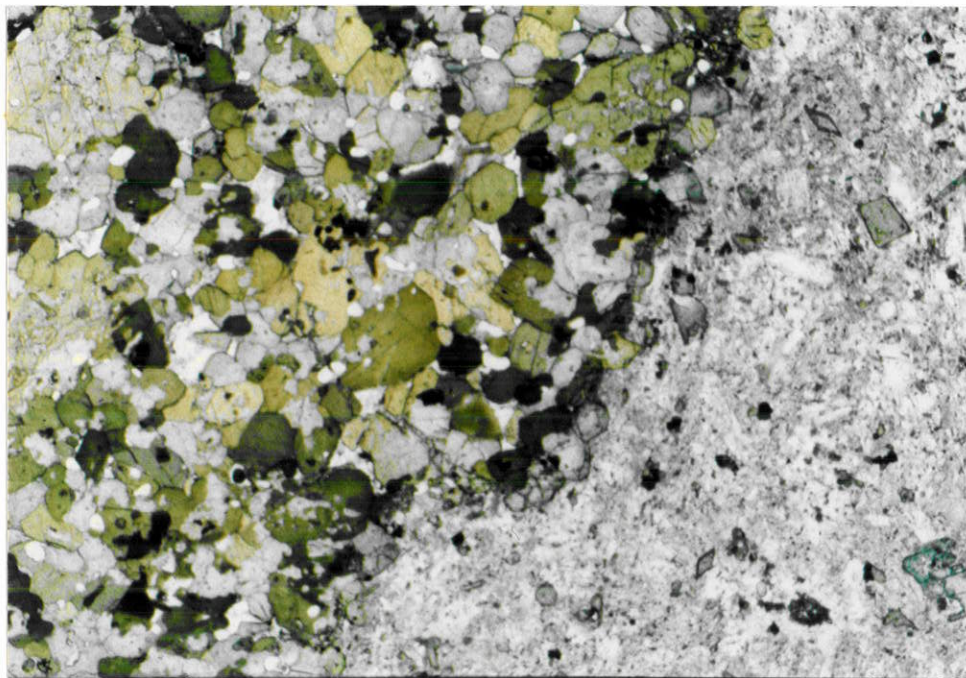


Foto 25 - Xenólito. Mesma secção em nicóis paralelos. Distingue-se anfíbólio de cor verde-acastanhado até verde-amarelado como cristais xenomórficos e clinopiroxênio incolor e de aspecto límpido. Na borda do contato observam-se alguns grãos de piroxênio de coloração mais esverdeada, produto da reação com a rocha hospedeira.

marron claro, acham-se circundados por várias camadas concêntricas reunindo opacos e grão xenomórficos de clinopiroxênio, com pleocroísmo verde-amarelo, às quais se associam também finas agulhas de apatita. Ocasionalmente, grãos de plagioclásio se fazem também presentes. Essas camadas são, no entanto, de ocorrência irregular, existindo casos (Fotomicrografias 24 e 25) em que os opacos estão ausentes, com piroxênio envolvendo diretamente o anfibólio.

A biotita ocorre em geral na matriz, formando pequenas lamelas de dimensões não superiores a 0,3 mm. O pleocroísmo é forte e de coloração castanho-avermelhado a castanho escuro.

A nefelina aparece como cristais idiomórficos, incolores e de aspecto límpido, atingindo dimensões em torno de 0,2 mm. Representa no máximo a 5% da moda.

A sodalita tem ocorrência restrita à matriz, onde ocorre preenchendo cavidades entre os grãos de feldspato alcalino e/ou piroxênio.

Como constituintes acessórios dos traquitos reconhecem-se opacos, provavelmente magnetita, associados com muita frequência ao piroxênio, ou ainda, como inclusões em feldspato, além de apatita na forma de micrólitos e titanita idiomórfica.

### ***Fonolitos***

Os fonolitos são rochas que ocorrem na forma de diques de dimensões modestas, ou então, como "plugs", dando origem a pequenos cerros (p.e. Yarigua-á). À vista desarmada, essas rochas apresentam cor verde escuro, granulação muito fina, aspecto maciço e brilho graxoso. São caracteristicamente porfiríticas, ressaltando-se a presença de fenocristais de feldspato

alcalino e/ou feldspatóides e, menos comumente e de piroxênio e biotita (Tabela 5).

Ao microscópio, evidencia-se a sua natureza porfirítica, como também o caráter textural pseudotraquítico de algumas amostras (Fotomicrografias 26 a 28).

Os piroxênios, do tipo egirina, são os representantes máficos mais importantes dessas rochas, com os cristais variando na forma desde pequenos cristais aciculares até fenocristais idiomórficos de hábito prismático e dimensões aproximadas de 2 mm. Mais frequentemente o tamanho é de 0,6 mm. Em nicóis paralelos, mostram cor verde oliva com pleocroísmo do mesmo tom. Independentemente da sua forma, apresentam zoneamento, seja do tipo concêntrico acompanhando as bordas do cristal, seja do tipo oscilatório e setorial junto aos grãos mais desenvolvidos. O ângulo máximo de extinção inclinada (X-c) varia de 7 a 15°. Os cristais maiores contêm inclusões de apatita idiomórfica.

O feldspato alcalino, do tipo sanidina, ocorre na matriz, ou então, como cristais bem desenvolvidos, de hábito tabular alongado, atingindo as dimensões até 5 mm. Em geral, eles se apresentam geminados segundo a lei de Carlsbad, raramente zonados, e contêm inclusões de apatita, opacos, micrólitos de piroxênio e, por vezes, titanita.

A nefelina está presente na matriz como grãos xenomórficos, juntamente com o feldspato alcalino, ou como fenocristais idiomórficos, com contorno retangular, e dimensões desde 0,2 até 1,0 mm. Os cristais mais desenvolvidos são límpidos, enquanto que os xenomórficos da matriz exibem, nas bordas, coloração amarelada como resultado de alteração incipiente.



Tabela 5 - Petrografia esquemática das rochas vulcânicas da Província Central.

	BASALTOS ALCALINOS		TEFRITOS		TRAQUI ANDESITOS		TRAQUI FONOLITOS		TRAQUITOS		FONOLITOS	
	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M
OLIVINA	—											
PIROXÊNIOS	—	—	—	—	—	----	—	—	----	----	----	—
ANFIBÓLIOS					.....		----		----			
BIOTITA			.....		.....	.....	—	----	.....	.....		.....
PLAGIOCLÁSIOS	—	—	—	—	----	—						
FELDSPATO ALCALINO					----	—	—	—	—	—	—	—
NEFELINA		----	----	—			.....	—		.....		—
LEUCITA							----	.....			----	.....
APATITA		—		----		—		—		----		----
TITANITA		.....		.....		.....		----		----		----
ZIRCÃO		.....		.....				.....				
OPACOS		—		—		----		----		.....	----	.....

F, feno e microfenocristais

— Comum

M, matriz

---- Pouco

..... Raro

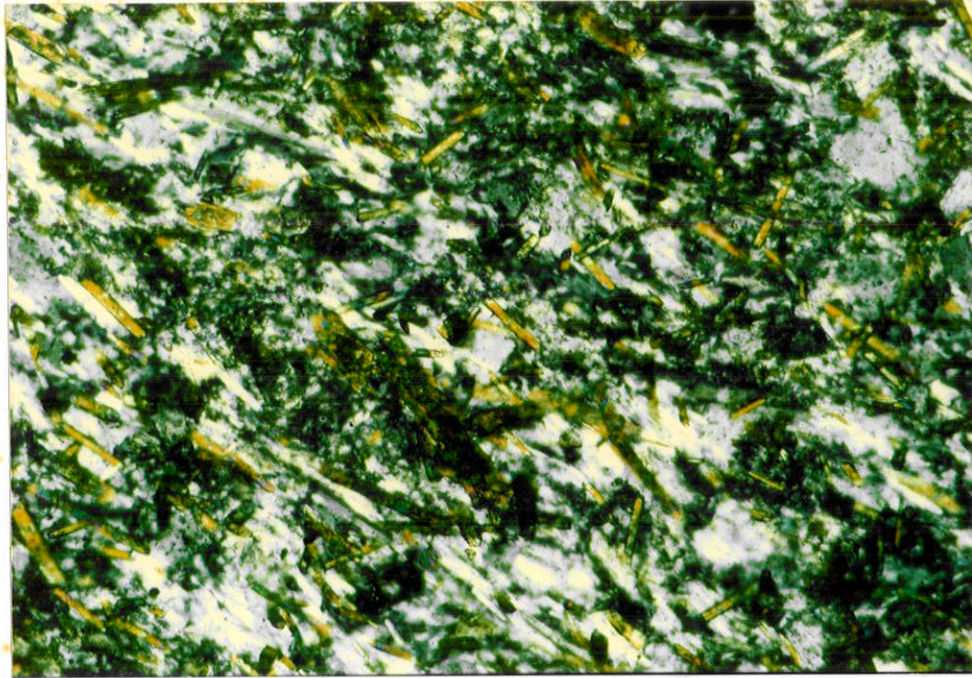


Foto 26 - Fonolito. Textura pseudotraquítica com forte orientação dos cristais prismáticos de piroxênio (egirina). A matriz leucocrática reúne feldspato alcalino e nefelina. Nicóis cruzados, filtro azul, 100X.

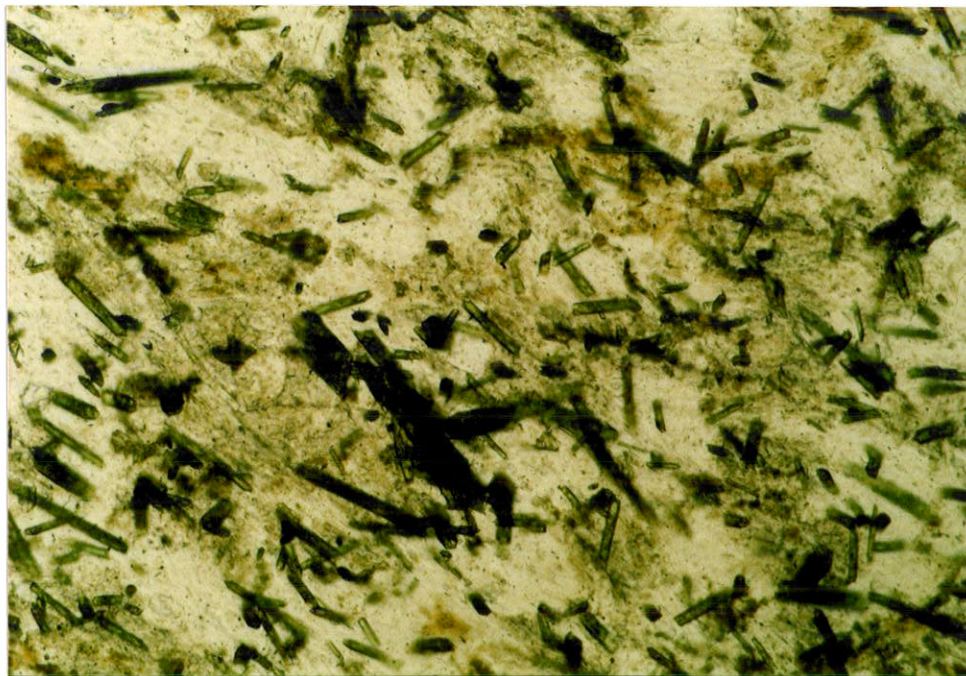


Foto 27 - Fonolito. Mesma secção em nicóis paralelos. Nota-se melhor os cristais de egirina de coloração esverdeada. A massa irregular de cor amarelo-esverdeado consiste basicamente em finos cristais de piroxênio e feldspato alcalino parcialmente alterado; os espaços vazios e mais lípidos correspondem a cristais de nefelina. Filtro azul, 100X.

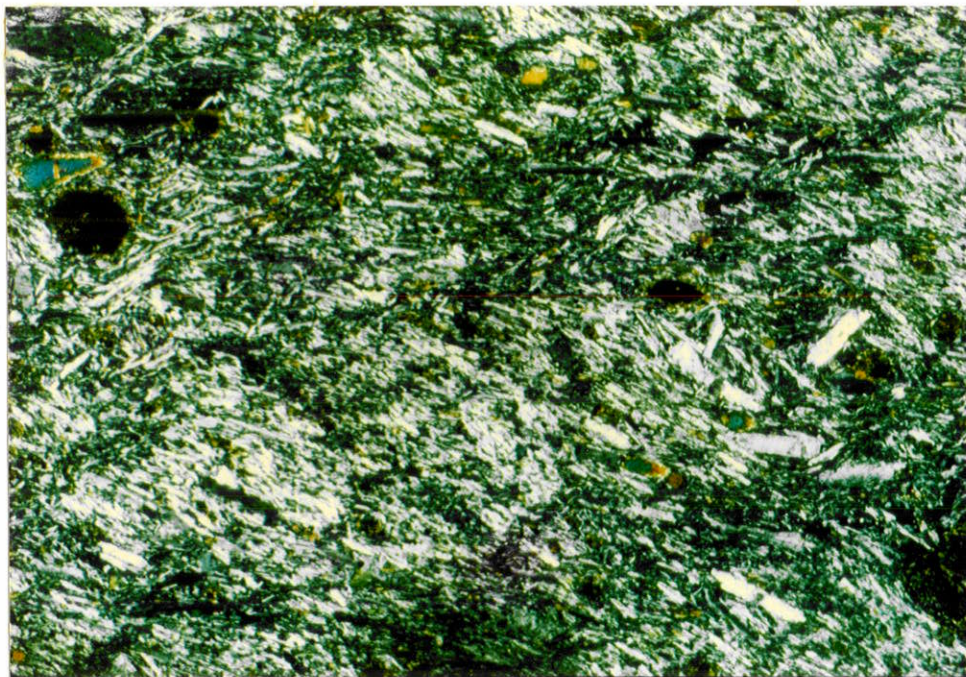


Foto 28 - Fonolito. Textura mostrando orientação pronunciada dos cristais de feldspato alcalino de hábito tabular alongado, além de evidências de resfriamento rápido, como indicado pela disposição subdendrítica dos grãos de feldspato. Nicóis cruzados, filtro azul, 25X.

A biotita está presente como fenocristais e microfenocristais idiomórficos a subidiomórficos, de hábito placóide, ou ainda, como pequenos grãos. As dimensões são muito variadas e chegam a alcançar até 2,0 mm, ainda que os valores mais frequentes se situem em torno de 0,8 mm. Os cristais mais desenvolvidos apresentam cor castanho a castanho-avermelhado, com forte pleocroísmo estendendo até castanho escuro. Por sua vez, a biotita da matriz tem coloração castanho claro e pleocroísmo do mesmo tom.

Apatita é o acessório mais comum, ocorrendo como inclusões em outros minerais ou disseminados na matriz. As dimensões dos cristais variam em função da forma, acicular a prismática, atingindo nestes últimos valores em torno de 0,3 mm.

Adicionalmente, estão presentes titanita, disseminada na matriz como cristais subidiomórficos, e opacos, provavelmente magnetita, como grãos xenocristais, subidiomórficos e até idiomórficos. Quando ocorrem como microfenocristais, suas dimensões variam de 0,2 a 0,3 mm. Em geral, os opacos acham-se disseminados na matriz, além de aparecer como inclusões em outros minerais, ou ainda, associados a piroxênios.

## CAPÍTULO 5

### GEOCRONOLOGIA

#### 5.1. Idades K/Ar

A datação de rochas alcalinas do Paraguai Oriental tem sido objeto de diversos trabalhos, entre os quais se destaca o de Comte e Hasui (1971), fornecendo uma primeira visão sobre a cronologia dos eventos magmáticos, e também metamórficos, afetando a região. O trabalho contém ainda uma discussão geral sobre os resultados obtidos e a descrição da metodologia empregada, assim como a sua precisão para as amostras analisadas.

Posteriormente a essa etapa pioneira, foram efetuados alguns trabalhos se valendo de orientação geocronológica para as áreas pesquisadas. Porém, foi somente em 1975 que apareceu a primeira investigação geocronológica de detalhe, esta focalizando o complexo de Sapucaí junto à Província Central. Nesse trabalho (Palmieri e Arribas, 1975), os autores efetuaram estudos geológicos das alcalinas da área, reunindo descrições petrográficas gerais das rochas existentes e uma discussão sobre as suas idades radiométricas, determinadas pelo método K/Ar. Além disso, procuraram também correlacioná-las com rochas alcalinas similares do Brasil. Ao lado das referências anteriores, citam-se ainda o trabalho de Bitschene et al. (1986), onde foram tecidas considerações sobre a tectônica e geocronologia de alguns dos corpos alcalinos da Província Central, e a publicação inédita de Bitschene (1987). Este, em pesquisa de grande abrangência, tratou da petrografia, tectônica, estratigrafia e geocronologia

da área de Ybytyruzú, além de discutir, com base em dados geoquímicos, a gênese das rochas alcalinas ali aflorantes.

Mais recentemente, coube a Velázquez et al. (1990a,b) a tarefa de reunir algumas informações adicionais sobre a geocronologia da área, dentro do programa de pesquisa que vem se ocupando do magmatismo alcalino do Paraguai Oriental, e que conta com a participação conjunta de pesquisadores de universidades do Brasil, Itália e Paraguai.

A Tabela 6 agrupa as datações K/Ar constantes da literatura para as rochas alcalinas mesozóicas da Província Central, assim como os novos dados obtidos no transcurso desta pesquisa. O trabalho de Sonoki e Garda (1988) contém valores recalculados para as idades listadas em Comte e Masui (1971) e Palmieri e Arribas (1975), uma vez empregando-se as constantes de decaimento de Steiger e Jaeger (1978).

Analisando-se a tabela é possível verificar que o intervalo das pulsações magmáticas se estende de 138 a 98 Ma, descartados os dois valores mais altos, que são passíveis de questionamento pela falta de maiores informações sobre o material analisado, e a idade do Cerro Gimenez (66 Ma), necessitando confirmação.

Os dados permitiram também a obtenção do histograma de frequência da Figura 9. Este é marcadamente unimodal e apresenta como classe dominante o intervalo 130-120 Ma. A dispersão observada (Fig. 10), com algumas manifestações mais precoces e outras de caráter mais tardio, poderia estar ligada à própria dinâmica do "rift", que sofreu diferentes etapas de ativação ao longo de um amplo intervalo de tempo. Os dados possibilitam ainda verificar que: 1) à exceção de Sapucaí e do Cerro Acahay,

Tabela 6 - Idades K/Ar para algumas ocorrências de rochas alcalinas mesozóicas da Província Central.

Localidade	Litologia	Material	KX	<sup>40</sup> Ar Rad. (10 <sup>-6</sup> , CSTP/g)	Ar Atm. X	Idade (Ma)	Ref.
Ybytyruzú	Malignito	Bi	7,68	40,84	16,9	131,9±5,0	2
Ybytyruzú	Malignito	Rt	6,43	29,90	10,2	115,8±4,2	2
Ybytyruzú	Nefelina sienito	Cpx	0,10	47,32	41,6	116,7±8,4	2
Ybytyruzú	Traquito	Bi	7,71	39,07	11,9	125,9±4,6	2
Ybytyruzú	Traquito	Bi	8,16	40,91	6,9	124,6±4,2	2
Ybytyruzú	Fonolito	Bi	7,17	37,20	9,2	120,8±4,6	2
Ybytyruzú	Fonolito	Cpx	0,03	18,20	55,5	165,6±16,0	2
Mbocayaty	Essexito	Bi	7,07	40,65	6,8	120,2±4,5	2
Mbocayaty	Malignito	Bi	6,63	34,45	25,94	129,2±6,8	4
Mbocayaty	Malignito	Fa	9,17	47,97	8,86	130,0±3,4	4
Aguapety Porton	Essexito	Bi	7,54	40,38	23,6	132,9±5,5	2
Aguapety Porton	Essexito	Cpx	0,14	71,16	28,8	123,7±5,2	2
Aguapety Porton	Essexito	Rt	2,50	13,94	15,9	138,1±4,8	2
Potrero Ybaté	Sienodiorito	Fa	5,97	30,68	9,76	127,8±5,6	4
Sapucaí	Essexito	Rt	7,79	41,16	17,5	131,0±8,2	3
Sapucaí	Fonolito	Rt	5,42	29,86	3,7	136,4±5,1	3
Sapucaí	Basanito	Rt	3,4	16,34	19,5	119,6±7,2	3
Sapucaí	Essexito	Rt	3,82	68,46	28,3	100,0±10	1
Sapucaí	Tefrito	Rt	5,57	24,17	26,1	108,3±10,2	3
Sapucaí	Basalto alcalino	Rt	4,03	7,19	29,8	98,0±5	1

Tabela 6 - conclusão.

Sapucaí	Basalto alcalino	Rt	3,97	21,0	14,5	131,1±5,1	3
Sapucaí	Sienogabro	Rt	4,75	89,9	104,7	122,0±4	5
Sapucaí	Fonolito	Rt	4,65	88,9	70,56	119,0±4	5
Cerro Santo Tomás	Essexito	Bi	8,05	40,84	7,5	126,0±4,5	2
Cerro Santo Tomás	Essexito	Cpx	0,12	87,10	35,3	183,5±8,5	2
Cerro Santo Tomás	Essexito	Rt	4,63	25,57	8,2	136,8±5,0	2
Cerro Santo Tomás	Essexito	Rt	2,80	15,44	47,0	136,5±10,2	3
Cerro Santo Tomás	Minette	Bi	8,48	44,46	12,4	130,1±4,8	2
Cerro Santo Tomás	Minette	Bi	8,31	42,79	10,7	127,9±4,8	2
Cerro Gimenez	Traquito	Rt	4,44	11,58	21,18	66,0±4,6	4
Cerro Acahay	Traquibasalto	Rt	3,33	96,0	99,4	118,0±4	5
Cerro Arrua-i	Sienodiorito	Bi	5,44	28,99	48,19	132,3±8,4	4

Abreviações:

Bi, biotita; Rt, rocha total; Cpx, clinopiroxênio; Fa, feldspato alcalino.

Referências:

1. Palmieri e Arribas (1975);
2. Bitschene (1987);
3. Sonoki e Garda (1988);
4. Velázquez et al. (1990b);
5. Capaldi, Universidade de Nápoles, Itália (dados inéditos).



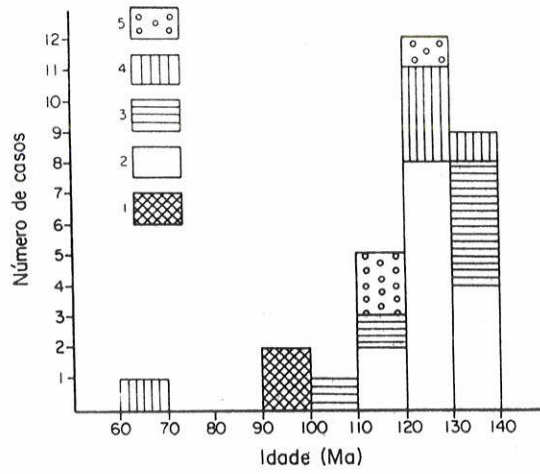


Figura 9 - Histograma de idades K/Ar para rochas alcalinas da Província Central. 1. Palmieri e Arribas (1975); 2. Bitschene (1987); 3. Sonoki e Garda (1988); 4. Velázquez et al. (1990b); 5. G.Capaldi (dados inéditos).

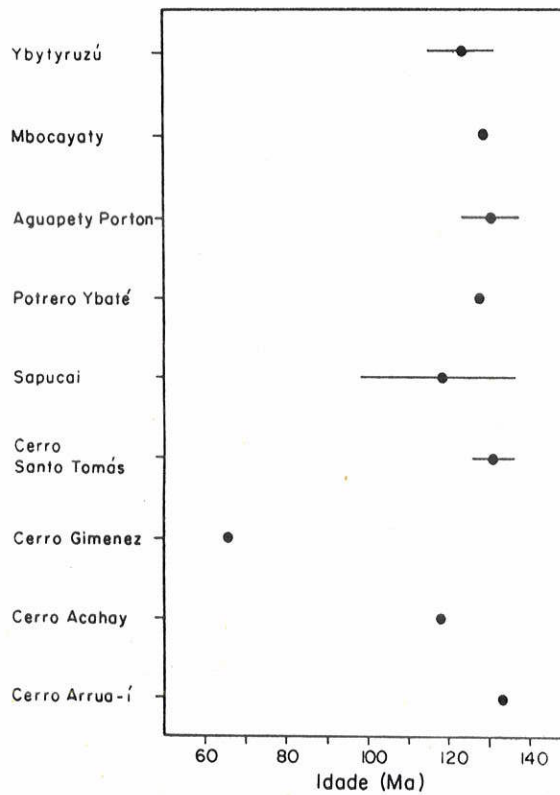


Figura 10 - Campo de variação das idades K/Ar e seu valor médio para os diversos corpos alcalinos da Província Central.

as idades para os vários corpos situam-se em torno de 130 Ma; 2) Cerro Gimenez, um "plug" fonolítico, apresenta idade bem inferior à dos demais (66 Ma).

## 5.2. Idades Rb/Sr

Além dos dados radiométricos K/Ar, constam também da literatura algumas idades obtidas pelo método Rb/Sr, provindo basicamente de duas fontes distintas, Bitschene (1987) e Velázquez et al. (1990b) (Tabela 7).

As rochas analisadas no trabalho de Velázquez et al. (1990b) correspondem a uma suíte plutônica, caracterizada, petrograficamente, pela presença de essexitos, sienodioritos e malignitos. As análises foram feitas tanto em rocha total como em concentrados minerais (biotita, feldspato alcalino). Os resultados (Tabela 7) acham-se projetados nas Figuras 11 e 12. Na primeira, tem-se uma isócrona de referência construída com doze pontos (análises de rocha total e concentrados minerais). Esses dados indicam uma idade de  $126,5 \pm 7,6$  Ma, e  $R_0$  de  $0,70721 \pm 9$ , com MSWD = 1. Já na Figura 12, observa-se a representação de uma isócrona interna para o corpo intrusivo de Mbocayaty, petrograficamente, caracterizado como um malignito. O gráfico, construído a partir de três pontos bem alinhados (Rt, Bi, Fa), fornece uma idade de  $127,8 \pm 7,2$  Ma e  $R_0$  de  $0,70735 \pm 7$ , com MSWD =  $0,138350$ .

Como pode ser notado, as duas isócronas guardam razoável concordância quanto à razão inicial. Por sua vez, a idade é inteiramente compatível com o intervalo de tempo registrado pelo método K/Ar, como também com o valor obtido Bitschene (1987), de

Tabela 7 - Dados isotópicos para algumas ocorrências de rochas alcalinas mesozóicas da Província Central

Localidade	Litologia	Material	Rb(ppm)	Sr(ppm)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$R_o$	Ref
Ybytyruzú	Ter	Rt	115	1385	0,240	0,70737(±3)	0,70693	1
Ybytyruzú	F	Rt	117	1049	0,322	0,70821(±4)	0,70761	1
Ybytyruzú	T	Rt	130	1038	0,362	0,70800(±3)	0,70734	1
Cerro Capiitindy	F	Rt	79	2048	0,112	0,70775	0,70756	3
Mbocayaty	E	Rt	172	1637	0,304	0,70773(±2)	0,70717	1
Mbocayaty	Ma	Rt	162	1617,5	0,290	0,70786(±19)	0,70736	2
Mbocayaty	Ma	Bi	132	308,5	1,239	0,70760(±19)	0,70748	2
Mbocayaty	Ma	Fa	107	3361	0,092	0,70755(±37)	0,70739	2
Aguapety Porton	E	Rt	100	1963	0,147	0,70745(±2)	0,70718	1
Aguapety Porton	Ma	Rt	98	1698,5	0,167	0,70758(±22)	0,70729	2
Aguapety Porton	Ma	Bi	166,5	110	4,384	0,71437(±43)	0,70689	2
Cerro San José	E	Rt	91	1713,5	0,154	0,70720(±19)	0,70693	2
Cerro San José	E	Bi	120	133,5	2,603	0,71185(±19)	0,70741	2
Cerro San José	E	Rt	81	1555	0,151	0,70720(±31)	0,70694	3
Potrero Ybaté	Sd	Rt	100	2009	0,144	0,70749(±19)	0,70724	2
Sapucaí	Tb	Rt	86	1456	0,171	0,70712(±4)	0,70685	3
Cerro Santo Tomás	M	Rt	100	1398	0,213	0,70756(±2)	0,70720	1
Cerro Santo Tomás	E	Rt	94	1444	0,188	0,70806(±3)	0,70771	1
Cerro Santo Tomás	Sd	Rt	86	1853,5	0,157	0,70778(±19)	0,70751	2
Cerro Santo Tomás	Sd	Bi	157,5	174	2,621	0,71238(±31)	0,70790	2
Cerro Santo Tomás	M	Rt	89	1216	0,212	0,70800(±4)	0,70763	3
Cerro Medina	F	Rt	218	361	1,745	0,70622(±6)	0,70324	3
Cerro Arrua-í	Sd	Rt	103	1562	0,190	0,70712(±6)	0,70745	3

Tabela 7 - conclusão.

Cerro Arrua-i	Sd	Rt	81,2	1887	0,125	0,70710(±25)	0,70688	2
Cerro Arrua-i	Sd	Ri	108	307	1,018	0,70880(±22)	0,70706	2

Abreviações

E, essexito; F, fonolito; M, minette; Ma, malignito; Sd, sienodiorito; Ter, teralito; T, traquito; Tb, traquibasalto.

Para Material ver tabela anterior.

R<sub>0</sub>, razão inicial de <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr normalizada para 120 Ma.

Referências:

1. Bitschene (1987); 2. Velázquez et al (1990b); 3. G.Capaldi, Universidade de Nápoles, Itália (dados inéditos)

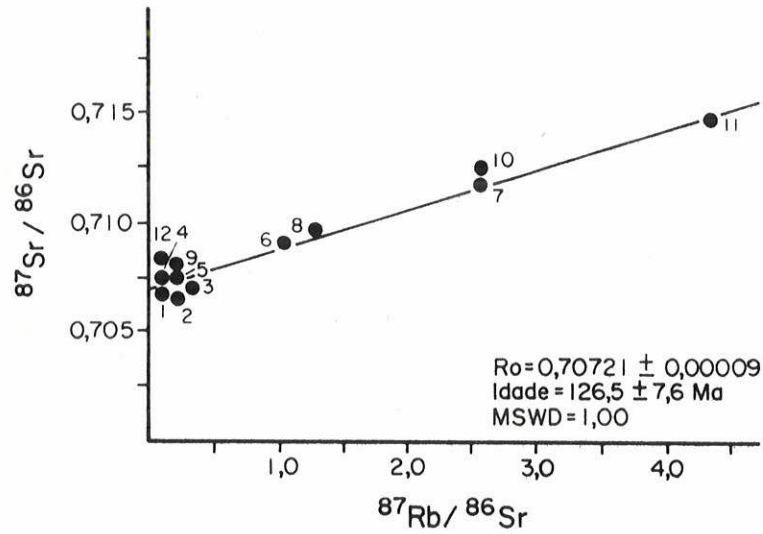


Figura 11 - Isócrona de referência Rb/Sr para rochas alcalinas da Província Central (cf. Velázquez et al., 1990b). 1. sienodiorito (Rt), Arruaí; 2. essexito (Rt), San José; 3. malignito (Rt), Mbocayaty; 4. sienodiorito (Rt) Santo Tomás; 5. sienodiorito (Rt), Potreto Ybaté; 6. sienodiorito (Bi), Arruaí; 7. essexito (Bi), San José; 8. malignito (Bi), Mbocayaty; 9. malignito (Fa), Mbocayaty; 10. sienodiorito (Bi), Santo Tomás; 11. malignito (Bi), Aguapety Porton; 12. malignito (Rt), Aguapety Porton.

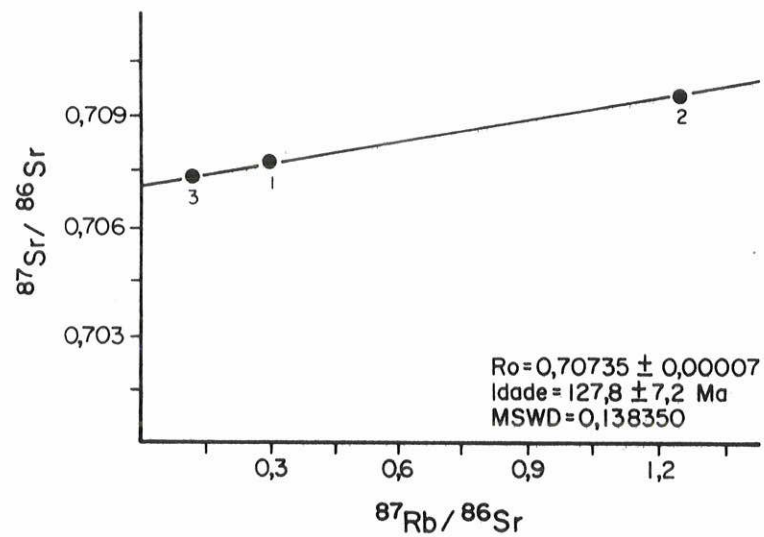


Figura 12 - Isócrona interna Rb/Sr para o corpo alcalino de Mbocayaty (extraído de Velázquez et al., 1990b). 1. malignito (Rt); 2. malignito (Bi); 3. malignito (Fa).

128±8 Ma, para alguns corpos da área de Sapucaí-Ybytyruzú.

Da tabela constam também valores isotópicos para rochas de dez complexos alcalinos distintos da Província Central, correspondendo a um total de 25 análises. A partir das relações  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  determinadas, foram calculados os correspondentes valores de  $R_o$  normalizados para 120 Ma. Aparentemente, o padrão de  $R_o$  exibe pequena dispersão, agrupando-se essencialmente entre 0,70685 e 0,70790 (Fig. 13), à exceção de um único caso. Este se refere à amostra PS-221 (Cerro Medina), petrograficamente, um fonolito, e apresentando  $R_o$  muito mais baixo (0,70324), valor este compatível com o das rochas alcalinas terciárias que afloram nas imediações da cidade de Assunção (Bitschene, 1987; Comin-Chiaramonti et al., 1991b)

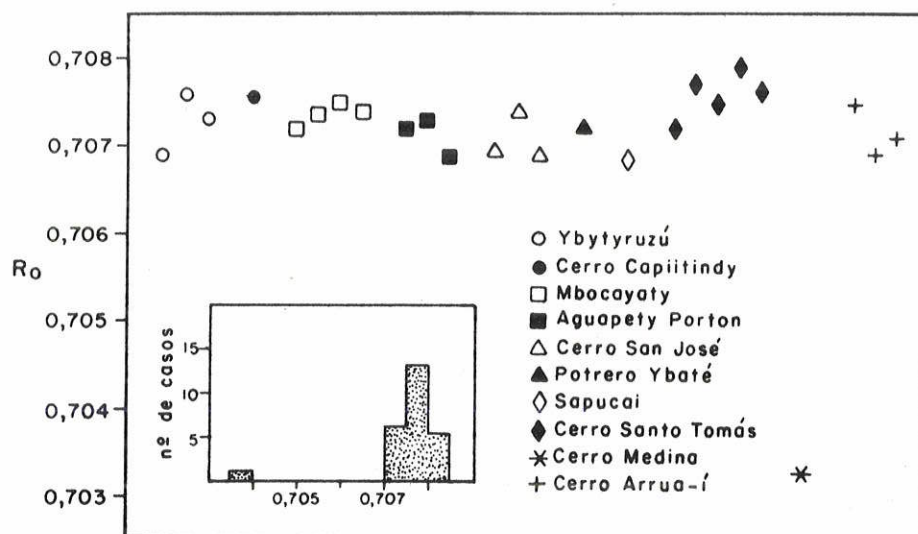


Figura 13 - Gráfico relacionando os valores de  $R_o$  para diversos complexos alcalinos da Província Central.

### 5.3. Idades de traços de fissão em apatitas

Seis amostras foram analisadas por este método, sendo cinco correspondentes ao maciço de Acahay e uma ao corpo do Cerro Santo Tomás (Green et al., 1991a,b). Além disso, analisou-se também uma amostra de arenito siluriano da região de contato do maciço de Acahay, que forneceu idade de  $75,1 \pm 7,3$  Ma. Petrograficamente, as seis amostras representam variedades intrusivas de afinidade tendendo a gábrica, além de um traquiandesito. Os resultados são fornecidos na Tabela 8 e indicam idades bem mais jovens que as obtidas pelos dois outros métodos, com a variação do intervalo de tempo se estendendo de  $77,9 \pm 10,3$  a  $94,5 \pm 4,3$  Ma. É sabido que as idades de traços de fissão datam a época de resfriamento abaixo da isoterma; para a apatita essa temperatura é da ordem de  $110 \pm 20^\circ\text{C}$  (Durrani, 1981)

Tabela 8 - Idades de traços de fissão em apatitas para alguns corpos alcalinos da Província Central.

Ocorrência	Litologia	Material	C*	Idades (Ma)
Cerro Santo Tomás	Essexito	Apatita	$14,56 \pm 0,16$	$77,9 \pm 10,3$
Cerro Acahay	Sienogabro	Apatita	$14,42 \pm 0,12$	$88,0 \pm 5,1$
Cerro Acahay	Gabro alcalino	Apatita	$14,54 \pm 0,10$	$94,5 \pm 4,3$
Cerro Acahay	Gabro essexítico	Apatita	$14,51 \pm 0,10$	$91,4 \pm 5,3$
Cerro Acahay	Sienodiorito	Apatita	$14,83 \pm 0,11$	$79,9 \pm 4,6$
Cerro Acahay	Traquiandesito	Apatita	$14,72 \pm 0,18$	$87,3 \pm 8,1$

\*, Comprimento médio do traço de fissão.

Considerando que as amostras analisadas correspondem a intrusões supracrustais, a idade de traços de fissão, muito provavelmente, está refletindo a história do resfriamento do corpo. Ou ainda, poderia refletir o padrão de resfriamento sofrido pela área depois da abertura do "rift" até o estabelecimento do equilíbrio isostático.



## CAPÍTULO 6

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

#### 6.1. Evolução do "rift" de Assunção

Nos últimos anos, os estudos sobre "rifts" têm despertado grande interesse no mundo inteiro. Assim que, para o mecanismo de formação dos "rifts" continentais, foram propostos vários modelos de geração. Dentre estes, citam-se domeamento mantélico, extensão crustal e ascensão do material mantélico, frequentemente associados a atividades sísmicas, falhamentos, movimentos verticais de blocos e vulcanismo (Neugebauer, 1983; Turcotte e Emerman, 1983; Wood, 1983; Zuber e Parmentier, 1986; Morgan e Ramberg, 1986; Le Bas, 1987; Kasmin, 1987).

Ainda dentro desse contexto, há muito vem sendo discutido o problema da origem e evolução do "rift" Sul-Atlântico e sua implicação tectono-magmático-sedimentar. Os trabalhos clássicos se ocupando do tema são os de Asmus e Porto (1972), Herz (1977), Asmus (1982), Szamari et al. (1986), Lana (1987) e Zalán et al. (1990).

De acordo com o modelo proposto por Conceição et al. (1988) para a abertura do Atlântico Sul, fundamentado na teoria dos pulsos tectônicos, o processo de "rift" desenvolveu-se em dois ciclos principais, 225-160 Ma e 160-115 Ma. Por outro lado, em função da intensidade e posicionamento do campo de esforço, é possível a individualização de duas etapas distintas: a primeira, de acúmulo de tensão na litosfera, e marcada por deformação dúctil; a segunda, de liberação de tensão, com predomínio de

grandes falhamentos normais; ambas as fases se dando dentro de um regime distensional. Na Tabela 9 acham-se resumidas algumas características (regime de deformação, principais estruturas, ambiente de sedimentação) apresentadas por esse processo.

O primeiro aspecto passível de observação no "rift" de Assunção, seja pela comparação das direções estruturais internas principais (NW), como pela orientação dos diques máficos e alcalinos (NW), ou mesmo, pela descontinuidade do embasamento que se projeta da borda para o centro do "rift", parece indicar que houve aplicação de esforços associados a um regime tectônico tensional dextral, independentemente do evento intrusivo. Disso resulta que a presença desses esforços, gerados pela própria dinâmica da Terra numa interação litosfera-astenosfera durante a separação dos continentes, se constitui em requisito para explicar a origem da megaestrutura, assim como também as falhas descritas por Degraff et al. (1981).

A tensão produzida durante a abertura do Oceano Atlântico (Fig. 14) seria a condição propícia para a criação de um regime tectônico, como proposto acima, com atuação direta na zona de debilidades crustais, e dando origem a fraturas, deslocamentos de blocos e falhas normais, como mencionado por Degraff (1985).

Por outro lado, consideradas as idades das manifestações alcalina potássica e toleítica associadas com o "rift" de Assunção, vê-se que elas são compatíveis com os intervalos de tempo dos eventos magmáticos descritos por Almeida (1983, 1986), Ulbrich e Gomes (1981), Piccirillo e Melfi (1988) e Almeida e Carneiro (1990). Todos esses autores ressaltam a importância da atividade tectono-magmática mesozóica na plataforma Sul-Americana e, mais, tomam-na como intimamente relacionada à abertura do

Tabela 9 - Resumo das principais características do rifteamento Sul-Atlântico (cf. Conceição et al., 1988)

Eventos		Rifteamento Sul-Atlântico			
		1º Ciclo Evento Sul-Atlântico Precoces		2º Ciclo Evento Sul-Atlântico	
		1ª Fase	2ª Fase	1ª Fase	2ª Fase
Características					
Tempo (Ma)		220	190(?)	160	135
Área de atuação predominante	Setentrional	Platô do Demerara	Plat. Guianas- Cas-siporé-Marajó	Região da Plat. Ilha de Santana	Plat. Cont. do Pará até Bacia Potiguar
	Meridional	Platô das Ilhas Malvinas	Platô das Malvinas até Bacia de Pelotas	Platô de São Paulo	Platô de S.P. até Bacia Sergipe-Alagoas
Regime de deformação predominante		Dúctil - amplas áreas sofrendo pequeno afinamento	Rúptil/dúctil - áreas mais restritas sob forte afinamento	Dúctil - amplas áreas sofrendo pequeno afinamento	Rúptil/dúctil - áreas mais restritas sob forte afinamento
Principal estilo estrutural		Bacias rasas e alongadas com pouco falhamento de pequeno rejeito	Bacias profundas, intenso falhamento normal de grande rejeito	Bacias rasas e alongadas com pouco falhamento de pequeno rejeito	Bacias profundas, intenso falhamento normal de grande rejeito
Ambiente sedimentar		Baixa energia Depósitos maduros	Alta energia Depósitos imaturos	Baixa energia Depósitos maduros	Alta energia Depósitos imaturos

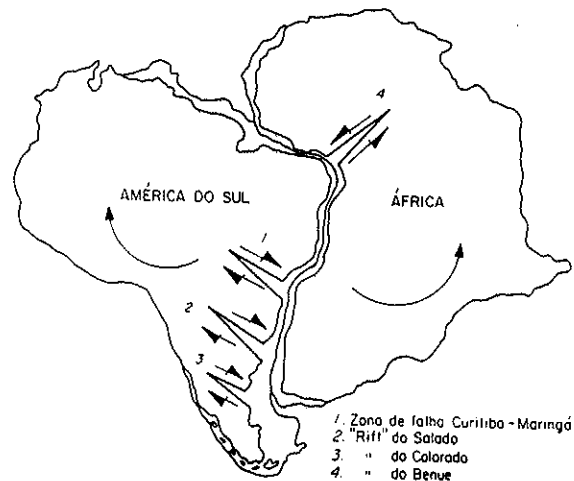


Figura 14 - Mapa esquemático da separação dos continentes ilustrando o movimento rotacional diferencial das porções ocidental e oriental (extraído de Conceição et al., 1988).

Oceano Atlântico, ocorrida durante o período Jurássico-Cretáceo.

Com base na sugestão de Conceição et al. (1988) para explicar o mecanismo de evolução do Atlântico Sul e na análise comparativa com o regime tectônico dominante na área em estudo, bem como nas evidências constantes da Tabela 10, e considerando ainda a concordância existente entre os eventos cronológicos e magmáticos dentro do "rift" de Assunção e a atividade tectono-magmática Jurássica-Cretácea da plataforma Sul-Americana, propõe-se, a seguir, um modelo tentando explicar a origem e a evolução da megaestrutura.

A Figura 15 esquematiza os estágios da evolução.

**Estágio A - Pré-rift (160-145 Ma)** - Admite-se para esse intervalo de tempo a existência de uma primeira manifestação tectônica tensional, gerando fraturas e pequenos falhamentos. Parece ter-se constituído no regime dominante, a julgar pelo fato de não terem sido registradas atividades magmáticas compatíveis com esse intervalo de tempo.

**Estágio B - (145-135 Ma)** - Acentua-se a atividade tectônica, com as fraturas e falhas alcançando sua maior fase de propagação. Durante esse período é também admitida a influência de domeamento mantélico e a sua fusão parcial, como concebido por Piccirillo et al. (1988) para o vulcanismo da Bacia do Paraná. Esta comparação é somente válida para a região oriental do "rift", onde foram assinaladas ocorrências de diques máficos (Druecker e Gay, 1987) e derrames basálticos toleíticos (Bellieni et al., 1986) congêneres com os investigados por aqueles autores.

**Estágio C (135-120 Ma)** - Pleno período de extensão crustal e "rifteamento", com contínua perturbação mantélica e migração de magma ao longo de planos de fissura e intrusão de diversos corpos

Tabela 10 - Características gerais mais relevantes do "rift" de Assunção.

1. **GEMORFOLÓGICA E ESTRUTURAL**

- Forma assimétrica
- Grande extensão (200 km de comprimento e 25-40 km de largura)
- Fraturas
- Falhamentos normais
- Gráben composto

2. **MAGMÁTICA**

- Atividade ígnea diversificada: plutônica, efusiva e hipobissal
- Magma composicionalmente diversos: toleítico, alcalino potássico e alcalino sódico
- Enxames de diques: máficos e alcalinos
- Complexos anelares e subanelares

3. **GEOFÍSICA**

- Anomalia gravimétrica positiva
- Anomalia magnetométrica regional positiva
- "Curie-point" raso

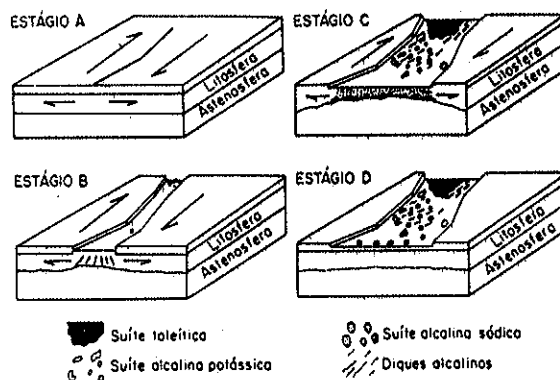


Figura 15 - Modelo evolutivo do "rift" de Assunção.

de afinidade alcalina potássica, gerando complexos anelares e subanelares, "plugs" "stocks" e numerosos diques. Esta atividade teria se concentrado preferencialmente junto à região central do "rift", não obstante ocorrência pertencente ao mesmo período tenha sido reportada por Bitschene (1987) na porção oriental (área de Ybytyruzú). Esta consiste em um complexo alcalino subanelar que penetra discordantemente derrames toleíticos correspondentes aos da Serra Geral. Por outro lado, são conhecidas, até agora, duas ocorrências de rochas alcalinas potássicas, na parte ocidental do "rift", associadas a esse intervalo.

**Estágio D (60-31 Ma)** - Após um período relativamente prolongado de calma tectônica e, ainda, de um ambiente marcadamente sedimentar na porção ocidental do "rift", teve lugar no Terciário, sobretudo no Oligoceno, uma última manifestação tectono-magmática. Esta foi responsável pela intrusão de séries de rochas ultra-alcalinas, de afinidade sódica e portadoras de nódulos mantélicos, que afloram principalmente nas circunvizinhanças da cidade de Assunção.

Quando se examina a distribuição do magmatismo alcalino e ultra-alcalino, Mesozóico e Terciário, no Brasil Meridional (e Paraguai), como também na África Ocidental (Angola, Namíbia), chama particularmente a atenção a existência de lineamentos orientados para NW-SE e NE-SW afetando, respectivamente, essas regiões. A ressaltar também o fato de que o magmatismo alcalino tende a se alinhar transversalmente à direção geral NS, relativa à Cadeia Meso-oceânica, e que não segue as principais tendências estruturais associadas ao embasamento cristalino.

Isto parece indicar, como sugerido por Sadowski (1987),

que a distribuição do magmatismo alcalino Mesozóico-Terciário acha-se relacionado à variação do regime de "stress" devido à abertura do Atlântico Sul, antes que a presença de antigos alinhamentos estruturais.

Além disso, se se considera que a região do Paraguai Oriental, foco do magmatismo alcalino Mesozóico e Terciário, pertence a uma faixa particular (aproximadamente na latitude do Trópico), como indicado pela:

- a) presença de uma bacia "em formação" (Bacia do Chaco);
- b) presença de estruturas transversais à Cadeia Meso-oceânica, como o "rift" Assunção-Sapucaí, e os lineamentos aeromagnéticos e fisiográficos continentais (lineamentos entre os rios Uruguai e Piqueri);
- c) presença de basaltos estratiformes da Formação Serra Geral com características mistas para as regiões norte e sul da Bacia do Paraná;
- d) presença do Alto Rio Grande e da sua extensão especular, o "Walvis Ridge";
- e) continuidade, na África, entre o Cráton do Congo e o Cráton de Kalahari.

É possível, em conformidade com Unterneher et al. (1988), especular sobre a existência de uma zona de descontinuidade, reduzida da velocidade relativa de rotação da placa continental, que tenha favorecido a subida do magma alcalino, bem na parte interna do continente, até a época Terciária e, provavelmente, Quaternária ("second-order plate boundary" Fig. 16).

A favor da hipótese, se recorda aqui que a grande falha de Ypacaraí, estendendo-se por mais de 100 km, é presentemente ativa, com direcionamento dextral, e que a área de Assunção é

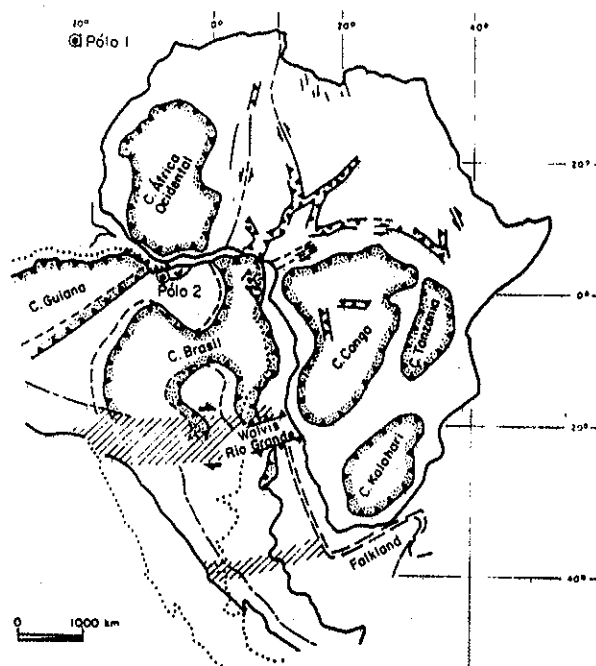


Figura 16 - Modelo proposto por Unternehr et al. (1983) para as deformações intraplacas na África e América do Sul.

também sismicamente ativa

## 6.2 Aspectos petrográficos

O padrão de distribuição das rochas alcalinas potássicas associadas ao "rift" é fornecido na Figura 17

Analisando-se o primeiro histograma (Fig. 17A), que se ocupa da suíte plutônica, é possível constatar que, em termos gerais, os essexitos aparecem como o tipo litológico mais representativo, vindo a seguir as rochas de composição sienodiorítica. Em proporções menores ocorrem sienogabros, malignitos, nefelina sienitos e sienitos, sendo que estas duas últimas variedades apresentam distribuição ainda mais restrita que à dos tipos anteriores.



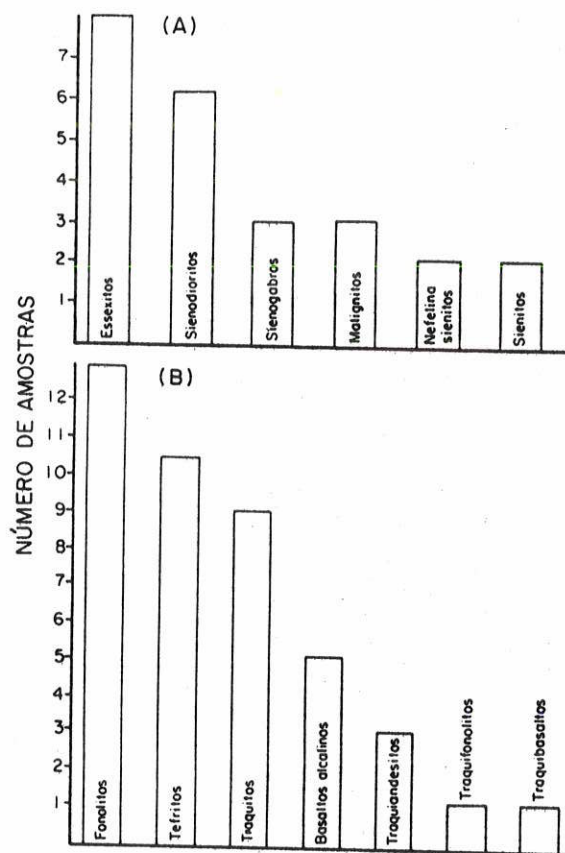


Figura 17 - Histograma representativo das rochas alcalinas da Província Central. A, suíte intrusiva; b, suíte extrusiva.

Por outro lado, o histograma da Figura 17B, que expressa a frequência dos termos vulcânicos, associados espacial e temporalmente às rochas acima citadas, mostra que os fonolitos, ao lado dos tefritos e traquitos, correspondem às litologias mais abundantes. Subordinadamente, estão presentes basaltos alcalinos, traquiandesitos, traquifonolitos e traquibasaltos.

Outra característica que ressalta nas variedades acima é a sua natureza textural. Na área, é muito comum a presença de rochas com textura porfirítica, contendo mega, feno e microfenocristais dos mais variados minerais. Além disso, fenocristais de piroxênios e plagioclásios se dispõem comumente na forma de pequenos agrupamentos de três ou cinco

grãos isolados (textura glomeroporfirítica). Esta feição é mais visível em basaltos alcalinos e tefritos, e menos nos fonolitos. Já junto aos tipos intrusivos, a tendência textural dominante é a hipidiomórfica a alotriomórfica granular fanerítica. O caráter porfirítico é menos freqüente e, praticamente, restrito às variedades de natureza mais máfica (essexitos, sienodioritos e malignitos). Neste caso, os fenocristais consistem em piroxênios e/ou biotita.

As principais características mineralógicas acham-se resumidas a seguir.

As olivinas, quase sempre presentes como fase de cristalização inicial, correspondem ao extremo mais magnésiano da série, ocorrendo tanto na suíte vulcânica como na plutônica (tipos mais máficos). No primeiro caso, na condição de fenocristais, o mineral se apresenta idiomórfico e bem desenvolvido, enquanto que, junto às rochas plutônicas, ele é invariavelmente subidiomórfico a xenomórfico.

Os piroxênios abrangem campo composicional dos mais amplos. Nas plutônicas de filiação gábrica e seus equivalentes vulcânicos, o tipo mais comum é uma augita a diopsídio-augita, em geral zonada e portadora de inclusões. Aparece tanto como grãos idiomórficos, de hábito prismático, ou como xenomórficos. Por outro lado, junto às litologias mais mesocráticas (malignitos) e mesmo leucocráticas (nefelina sienitos, sienitos e seus correspondentes vulcânicos), a sua composição varia de augita a egirina-augita e até egirina, como indicado pelo comportamento do pleocroísmo (cor e intensidade).

Os anfibólios ocorrem de forma mais restrita e, mesmo assim, somente em algumas litologias. São comuns nos traquitos.

Aparecem como fenocristais e exibem alteração nas bordas dos grãos. As feições ópticas indicam que a variedade presente é uma hornblenda, em geral geminada, zonada, e com forte pleocroísmo em marrom claro a escuro. Nas rochas do tipo essexítico e sienodiorítico, o mineral se apresenta como um constituinte menor, na forma de grãos isolados xenomórficos.

Os plagioclásios têm forma variada, reconhecendo-se desde cristais idiomórficos de contorno tabular alongado a grãos intersticiais. Em sua grande maioria exibem geminação polissintética, combinada comumente com zoneamento dos mais variados tipos. Junto às variedades plutônicas de natureza essexítica e sienogábrica, assim como em algumas vulcânicas (basaltos alcalinos e tefritos), a composição situa-se entre labradorita e bytownita. Entretanto, os sienodioritos e os traquiandesitos são portadores de um plagioclásio de composição mais sódica (andesina-labradorita).

As micas, presentes como lamelas idiomórficas a subidiomórficas, exibem forte pleocroísmo de coloração castanho a castanho-avermelhado. As características ópticas indicam tratar-se de biotita. As variedades com pleocroísmo mais avermelhado poderiam corresponder a biotitas titaníferas. De maneira geral, as micas são comuns a quase todas as variedades litológicas, exceção feita aos basaltos alcalinos.

Os feldspatos alcalinos ocorrem como cristais idiomórficos geminados segundo a lei de Carlsbad, ou xenomórficos, sem evidências de geminação. Nas rochas plutônicas, as feições ópticas apontam para ortoclásio, enquanto que, junto às vulcânicas (traquitos, fonolitos, fonolitos, traquifonolitos), é mais lícito pensar-se em sanidina, com base no ângulo óptico.

Os feldspatóides possuem natureza a mais diversa, reconhecendo-se nefelina, leucita e, em menor proporção, sodalita. A nefelina se apresenta como feno e microfenocristais, idiomórficos, e com contorno retangular, ou mesmo como grãos xenomórficos junto à massa fundamental. Já a leucita aparece somente na forma de feno e microfenocristais, idiomórficos, e com contorno pseudo-hexagonal. A sua geminação é complexa e a ocorrência mais difundida junto aos traquifonolitos. A sodalita é um constituinte comum dos traquitos, onde se mostra xenomórfica e presente em pequena quantidade.

As fases acessórias mais frequentes são titanita (nos tipos litológicos mais evoluídos), apatita, opacos (magnetita?), além de zircão como cristais isolados ou inclusões em outros minerais.

### 6.3. Aspectos geocronológicos

Em termos de interpretação dos resultados radiométricos pela metodologia K/Ar, considera-se que as idades obtidas refletem basicamente a época de colocação do magma, uma vez que, na área examinada, não são conhecidos eventos metamórficos posteriores às intrusões e, portanto, que possam ter alterado o conteúdo de argônio radiogênico das amostras. Entretanto, tornou-se necessário recorrer às explicações convencionais, como excesso ou perda de argônio, para justificar alguns valores não condizentes com a situação geológica.

O intervalo geocronológico de 130-120 Ma mostra boa concordância com o encontrado para algumas rochas alcalinas da borda oriental da Bacia do Paraná, em especial as ocorrências

citadas por Ulbrich et al. (1990) como pertencentes ao cronogrupo de 133 Ma. Por outro lado, aquele intervalo assinala a maior atividade tectono-magmática do "rift" de Assunção associada a um regime tectônico predominantemente tensional.

Doze amostras pertencentes à suíte plutônica foram analisadas pelo método Rb/Sr (Velázquez et al., 1990b), e tiveram seus dados projetados em diagrama (Fig. 11). A sua análise indica que apenas quatro deles acham-se alinhados ao conjunto concentrado perto da origem. Apesar das limitações da isócrona, a idade obtida ( $126,5 \pm 7,6$  Ma) mantém no entanto estreita correspondência com os resultados K/Ar. Por outro lado, a isócrona interna (Fig. 12) já apresenta boa distribuição espacial, com três pontos alinhados, fornecendo, assim, uma idade de  $127,8 \pm 7,2$  Ma. Como pode ser notado, os dois conjuntos indicam idade de formação próxima a 130 Ma.

As idades de traços de fissão em apatitas apontam valores bem menores para alguns corpos alcalinos da Província Central ( $77,9 \pm 94,3$  Ma). Duas hipóteses procuram explicá-las. Como a temperatura de bloqueio para a apatita situa-se em torno de  $110 \pm 20^\circ\text{C}$  e as amostras analisadas provêm de intrusões supracrustais rasas, muito possivelmente essas idades estejam refletindo a história do resfriamento dos corpos. Por outro lado, durante a abertura do "rift" continental, as bordas das zonas cisalhadas se apresentam frequentemente levantadas com vistas a manter o equilíbrio isostático. Esse fenômeno de reajuste isostático possui amplitude suficiente para fazer com que rochas profundas atinjam regiões mais rasas, ultrapassando, conseqüentemente, a isoterma de  $110^\circ\text{C}$  e, permitindo, dessa forma, às apatitas gravarem os seus traços de fissão no momento de

equilíbrio durante o resfriamento. Esse evento data a passagem da isoterma  $110^{\circ}\text{C}$  no intervalo entre  $75,1 \pm 94,5$  Ma.

Adicionalmente, dados isotópicos preliminares indicam para as alcalinas da porção central do Paraguai valores de  $R_o$  ( $0,70685-0,70790$ , Fig. 13) superiores aos obtidos para os nefelinitos de Assunção ( $0,70362-0,70392$ ; cf. Bitschene, 1987 e Comin-Chiaromonti et al., 1991b) e toleítos da Formação Serra Geral ( $0,70584$ , cf. Piccirillo e Melfi, 1988), sugerindo, com isso, uma fonte mantélica mais radiogênica para as primeiras ou, alternativamente, a existência de processos de contaminação crustal. Ambas as hipóteses ainda carecem de confirmação, que se espera possa ser conseguida em investigações futuras.

## CAPÍTULO 7

### CONCLUSÕES

A atividade alcalina da Província Central do Paraguai é das mais significativas.

- o "rift" de Assunção encontra-se claramente relacionado com o processo de abertura do Oceano Atlântico, como indicado pelo regime tectônico dominante na área e dados radiométricos das litologias magmáticas associadas à depressão;

- o processo de "rifteamento", a julgar por suas características morfológicas e estruturais, e levando-se ainda em consideração os padrões de orientação dos enxames de diques máficos e alcalinos, aponta no sentido de um regime tectônico distensional dextral.

- durante a primeira fase do "rifteamento", o domínio foi eminentemente tectônico, dando-se então a formação de fraturas e o deslocamento de blocos;

- o principal período de atividade tectono-magmática do "rift" se deu no intervalo 130 - 120 Ma;

- a colocação do magma nefelinítico, ocorrido entre 59 e 38 Ma, assinala importante intervalo de atividade tectono-magmática na parte ocidental do "rift", sugerindo, dessa forma, a existência de dois períodos principais de ativação;

- a julgar pela distribuição dos corpos magmáticos ao longo da depressão tectônica, acredita-se que a propagação das fraturas e falhas, assim como a atividade ígnea, tenha se processado da parte oriental para a ocidental do "rift";

- a Província Alcalina Central apresenta um modelo bimodal

de atividade potássica relacionada basicamente com o ambiente de formação, sendo possível caracterizar-se duas suítes distintas, plutônica e vulcânica. A primeira exhibe afinidade gabro-essexítica a sienodiorítica, enquanto que a segunda reúne basaltos alcalinos e tefritos e seus diferenciados;

- a mineralogia básica de ambas as suítes mostra uma associação contendo piroxênios (augita a augita-diopsídica nos termos menos diferenciados e egirina-augita a egirina nos mais), plagioclásios (labradorita-bitownita para as rochas menos evoluídas e andesina-labradorita para as mais) e feldspato alcalino (ortoclásio na suíte plutônica e sanidina na vulcânica), além de nefelina na condição de acidental principal em algumas variedades. Como acessórios mais frequentes aparecem apatita, titanita, opacos e zircão.

- as rochas pertencentes à suíte plutônica ocorrem comumente na forma de "stocks", que se expressam topograficamente como pequenos cerros de altitudes inferiores a 500 m. Por sua vez, a suíte vulcânica ocorre como lavas, cobrindo áreas não muito extensas, "plugs", ou ainda, como diques de dimensões muito variadas. Esta última forma de ocorrência é a de maior expressão geológica na Província Central, sendo mesmo possível reconhecer-se, junto ao complexo de Sapucaí, por exemplo, pelo menos quatro gerações distintas de diques;

- entre as variedades litológicas frequentemente presentes como diques citam-se os tefritos, traquitos e fonolitos, com maior predominância para o último;

- o caráter textural dominante na suíte vulcânica é o porfirítico, com mega, feno e microfeno-cristais de minerais os mais variados; junto às rochas plutônicas, a textura é



tipicamente granular alotriomórfica;

- as idades radiométricas K/Ar e Rb/Sr indicam que a manifestação magmática alcalina afetando a área se deu principalmente no Cretáceo Inferior (130-120 Ma);

- a atividade tectono-magmática da Província Central guarda concordância com o magmatismo alcalino da borda oriental da Bacia do Paraná, fundamentalmente com os maciços pertencentes ao cronogrupo de 133 Ma;

- as idades de traços de fissão em apatitas situam-se no intervalo 75,1-94,5 Ma, com os valores refletindo possivelmente o período de resfriamento dos corpos após a sua colocação, ou, alternativamente, indicando o momento de equilíbrio durante o resfriamento regional após a abertura do "rifting";

- a razão inicial  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (0,70685-0,70790) para as rochas da Província Central estaria sugerindo uma fonte mantélica mais radiogênica, ou ainda, a existência de processos de contaminação crustal.

## CAPÍTULO 8

### AGRADECIMENTOS

Para o desenvolvimento deste trabalho diversas pessoas e instituições prestaram a sua colaboração. O autor gostaria de deixar consignado os seus sinceros agradecimentos a todas elas.

À Universidade Nacional de Assunção, em especial o Diretor, o corpo docente e técnico do Departamento de Geologia, pela permissão para o uso do laboratório de petrografia e pela carinhosa hospitalidade.

Ao Centro de Pesquisas Geocronológicas, particularmente os Professores Koji Kawashita, Wilson Teixeira e Colombo Tassinari, pela orientação recebida na interpretação dos dados radiométricos, assim como ao corpo técnico pela atenção e auxílio dispensado durante o trabalho analítico naquele laboratório.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela assistência financeira que possibilitou ao autor a realização do programa de pós-graduação junto ao Instituto de Geociências. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio à execução dos trabalhos de campo no Paraguai.

Ao Professor Piero Comin-Chiaramonti, da Universidade de Palermo, Itália, pela cessão de dados analíticos inéditos e assistência por ocasião do programa de amostragem.

Ao Professor Aldo Cundari, da Universidade de Melbourne, Austrália, pelas profícuas discussões.

Ao Professor Francisco Alves, pela valiosa ajuda durante os estudos petrográficos das secções delgadas.

Ao Professor Celso Dal Ré Carneiro, pela orientação criteriosa na parte interpretativa da evolução estrutural da área pesquisada.

Ao Geólogo Delio Orué, pelas numerosas discussões mantidas sobre a geologia da região, que muito auxiliaram no desenvolvimento desta pesquisa.

Aos colegas e amigos do Curso de Pós-Graduação, José Maria Azevedo Sobrinho, Marcelo Guimarães, Giana Garda e Wagner Maringolo, pelo grande estímulo e colaboração em várias etapas deste trabalho.

Ao colega e amigo Henrique Ciguel (In memoriam), pelo incentivo e ajuda na interpretação e correlação estratigráfica das formações sedimentares da região investigada.

À colega Angela Beatriz de Menezes, pelo espírito compreensivo e incansável colaboração, principalmente na fase de redação da dissertação.

Ao corpo técnico da biblioteca, pela constante atenção e auxílio oferecidos durante todo o período de permanência no Instituto de Geociências.

A Secretária do Departamento de Mineralogia e Petrologia, Sra. Marta José da Silva, pela eterna boa vontade e espírito de cooperação.

À Gráfica e à Seccção de Laminação, nas pessoas respectivas dos seus chefes, Jayme da Silva e Cláudio Hopp, pela inestimável ajuda.

Um agradecimento muito especial ao Professor Celso de Barros Gomes, orientador deste trabalho, pela dedicação, estímulo e cuidados dispensados na preparação e revisão final do texto.

## CAPÍTULO 9

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. (1983) Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozóicas da região meridional da plataforma Sul-Americana. *Rev. Bras. Geoc.*, **13**:139-258.
- ALMEIDA, F.F.M. (1986) Relação tectônica e distribuição do magmatismo pós-paleozóico no Brasil. *Rev. Bras. Geoc.*, **16**:325-349.
- ALMEIDA, F.F.M. e CARNEIRO, A.J. (1990) Magmatic occurrences of pos-Permian age of the South-American platform. *Bol. IG-USP, Sér. Cient.*, **20**:71-85.
- AMARAL, G.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; REYNOLDS, J.H. (1966) Potassium-argon dates of basaltic rock from Southern Brazil. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **30**:459-189.
- ANSCHUTZ CORPORATION (1980) Geologic map of eastern Paraguay. Escala 1: 200000, Asunción (inédito).
- ASMUS, H.E. (1982) Geotectonic significance of Mesozoic-Cenozoic magmatic rocks in the Brazilian continental margin and adjoining emerged area. V Congr. Latin. Geol., Buenos Aires, *Actas*, **3**:761-779.
- ASMUS, H.E. e PORTO, R. (1972) Classificação de bacias

sedimentares segundo a tectônica de placas. 26º Congr. Bras. Geol., Belém, Anais, 2:67-90.

BALDIS, B.A.J. e HANSEN, H. (1980) Trilobites dalmanitidos de Paraguay Oriental. II Congr. Argent. Paleont. e Bioestrat. e I Congr. Latinoamer. Paleont., Buenos Aires, 1978, Actas, Assoc. Paleont. Argent., 1:49-67.

BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MARQUES, L.S.; MARTINEZ, L.A.; MELFI, A.J.; NARDY, A.J.R.; PICCIRILLO, E.M.; STOLFA, D. (1986) Continental flood basalts from the central-western region of the Paraná Plateau (Paraguay and Argentina): petrology and petrogenetic aspects. N. Jahrb. Miner. Abh., 154: 111-139.

BITSCHENE, P.R. (1987) Mesozoischer und Känozoischer Magmatismus in Ostparaguay: arbeitetechnur geologie und petrologie zweier alkaliprovinzen. Ph.D. Thesis, Heidelberg University, 317p.

BITSCHENE, P.R. e BAEZ PREZER, J.L. (1989) The Asuncion alkaline province (Eastern Paraguay): geologic setting and petrogenetic aspects. Zbl. Geol. Palaont. Teil I, (5/6):959-971.

BITSCHENE, P.R. e LIPPOLT, H.J. (1984) Geologie der Cordillera der Ybytyruzú in Ostparaguay: ein Mesozoischer alkali-intrusiv-komplex am westrand der Paranabeckens. Lat. Amer. Koll. Marburg, Tag., Heft., 2:33-34.

BITSCHENE, P.R.; LIPPOLT, H.J.; ARETZ, J. (1985) Tertiärer

vulkanismus in Ostparaguay (Asuncion-Provinz) und rifting prozesse am westrand der Sudamerikanischen platform. Fortschr. Miner., 63/1, p.26.

BITSCHENE, F.R.; LIPPOLT, H.J. EMMERMANN, R. (1986)  
Jungnesozoicher k-betonter magmatismus in Ostparaguay (Guairá-Paraguari provinz) und rifting-prozesse innerhalb der Sudamericka-platform. Fortschr. Miner., 64/1, p.19.

CENSI, P.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; DEMARCHI, G.; ORUÉ, D. (1989)  
Geochemistry and C-O isotopes of the Chiriguelo carbonatite (Northeastern Paraguay). J. South Amer. Earth Sci., 2:295-303.

CENSI, P.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; DE MIN, A.; GOMES, C.B.; ORUÉ, D.; PETRINI, R.; PICCIRILLO, E.M.; VELAZQUEZ, V.F. (1991)  
"Plugs" fonolíticos no gráben Assunção-Sapucai, Paraguai. Centro-Oriental. 3º Congr Bras. Geol./1º Congr. Geol. PLDP, São Paulo, Brasil, Resumos, p.127-129.

CHAYES, F. (1949) A simple point counter for thin section analysis. Amer. Mineral., 34:1-11.

CIGUEL, J.H.G. e DAEMON, R.F. (1989) Estudo fossilífero da Formação Vargas Pena do Grupo Itacurubi, borda ocidental da Bacia do Paraná, Paraguai (inérito).

CIGUEL, J.H.G.; ROSLER, O.; CLÉRICI, A.M.V.C. (1987) Skolithos verticalis e skolithos ayalis, Formação Eusebio Ayala (Grupo Itacurubi, borda ocidental da Bacia do Paraná no Paraguai) e

sua importância no ambiente deposicional. Congr. Bras. Paleont., Rio de Janeiro, Anais, 10:253-269.

COMIN-CHIARAMONTI, P.; DEMARCHI, G.; GIRARDI, V.A.V.; PRINCIVALLE, F. SINIGOI, S. (1986) Evidence of mantle metasomatism and heterogeneity from peridotite inclusions of northeastern Brazil and Paraguay. Earth Planet. Sci. Lett., 22:203-217.

COMIN-CHIRAMONTI, P.; GOMES, C.B.; PICCIRILLO, E.M.; BELLINI, G.; CASTILLO, A.M.C.; DEMARCHI, G.; GALLO, F.; VELÁZQUEZ, J.C. (1990) Petrologia do maciço alcalino de Acahay, Paraguai Oriental. Rev. Bras. Geoc., 20:133-152.

COMIN-CHIARAMONTI, P.; CAPALDI, G.; CENSI, P.; CUNDARI, A.; DE MIN, A.; GOMES, C.B.; ORUÉ, D.; PETRINI, R.; PICCIRILLO, E.M.; VELÁZQUEZ, V.F. (1991a) Geoquímica dos complexos alcalinos potássicos do Paraguai Centro-Oriental. 3º Congr. Bras. Geoq./1º Congr. Geoq. PLOP., São Paulo, Brasil, Resumos, p.100-108.

COMIN-CHIARAMONTI, P.; CIVETTA, L.; PETRINI, R.; PICCIRILLO, E.M.; BELLINI, G.; CENSI, P.; BITSCHENE, P.R.; DEMARCHI, G.; DE MIN, A.; GOMES, C.B.; CASTILLO, A.M.C.; VELÁZQUEZ, J.C. (1991b) Tertiary nephelinitic magmatism in Eastern Paraguay: petrology, Sr-Nd isotopes and genetic relationships with associated spinel-peridotite xenoliths. Eur. J. Mineral., 3:507-525.

COMIN-CHIARAMONTI, P.; CUNDARI, A.; CENSI, P.; GOMES, C.B.;

- PICCIRILLO, E.M.; BELLINI, G.; DE MIN, A.; ORUÉ, D.; VELÁZQUEZ, V.F. (1991c) Mesozoic dyke swarm in the Sapucaí-Gráben (Central-eastern Paraguay). International Symposium on Mafic Dykes, São Paulo, Brasil, Extended Abstracts, p.125-132
- COMIN-CHIARAMONTI, P.; CUNDARI, A.; GOMES, C.B.; PICCIRILLO, E.M.; BELLINI, G.; VELÁZQUEZ, V.F.; DE MIN, A. (1991d) Potassic dykes from central Paraguay. Terra, 3, p.25.
- COMTE, D. e HASUI, Y. (1971) Geochronology of Eastern Paraguay by potassium-argon method. Rev.Bras.Geoc., 1:33-43.
- CONCEIÇÃO, J.C.J.; ZALÁN, P.V.; WOLF, S. (1988) Mecanismo, evolução e cronologia do "rift" Sul-Atlântico. Bol.Geoc. Petrobrás, 2:255-265.
- CORDANI, U.G. (1970) Idade do vulcanismo do Oceano Atlântico Sul. Bol. IGA/USP, 1:9-75.
- DEGRAFF, J.M. (1985) Late Mesozoic crustal extension and rifting on the western edge of the Paraná Basin, Paraguay. Geol.Soc.Amer.Abst., 12,p.560.
- DEGRAFF, J.M.; FRANCO, R.; ORUÉ, D. (1981) Interpretación geofísica y geológica del Valle de Ypacaray (Paraguay) y su formación. Rev.Asoc.Geol.Argent., XXXVI(3):240-256.
- DEMARCHI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; DE VITO, P.; SINIGOI, S.; CASTILLO, A.M.C. (1989) Lherzolite-dunite xenoliths from



- Eastern Paraguay: petrological constraints to mantle metasomatism. In: PICCIRILLO, E.M. e MELFI, A.J. (eds.), The mesozoic flood volcanism from the Paraná Basin: petrogenetic and geophysical aspects. IAG-USP, p.207-227.
- DE MIN, A. (1988) Studio petrologico e geochimico della attività filoniana alcalina di Sapucaí (Paraguay). Bs.D. Dissertation, University of Trieste, 260p.
- DE VITO, P. (1987) Studio petrologico di xenoliti peridotici del Paraguay: implicazioni relative al metasomatismo di mantelo. Bs.D. Dissertation, University of Trieste, 210p.
- DRUECKER, M.D. e GAY, S.P. Jr. (1987) Mafic dyke swarms associated with mesozoic rifting in Eastern Paraguay, South America. In: HALLS, H. C. e FANKING, W.F. (eds.), Mafic dyke swarms. Geol.Assoc.Can., Sp. Paper, 34:187-193.
- DURRANI, S.A. (ed.) (1981) Proceedings first workshop on fission-track dating - Pisa (Italy). In: Fission-track dating, 5:241 - 252.
- EBY, N.G. e MARIANO, A.N. (1986) Geology and geochronology of carbonatite peripheral to the Paraná Basin, Brazil-Paraguay. Carbonatites Symposium, Ottawa, Canada, 13p.
- ECKEL, E.B. (1959) Geology and mineral resources of Paraguay, a reconnaissance. Geol.Surv.Prof. Paper, 34:110p.

FAURE, G. (1977) Principles of isotope geology. John Wiley and Sons, New York, 466p.

GALLO, P. (1988) Studio petrografico del massiccio alcalino di Acahay (Paraguay Orientale). Bs.D. Dissertation, Palermo University, 188p.

GOMES, C.B.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; DE MIN, A.; MELFI, A.J.; BELLINI, G.; ERNESTO, M.; CASTILLO, A.M.C.; VELÁZQUEZ, V.F. (1989) Atividade filoniana associada ao complexo alcalino de Sapukai, Paraguai Oriental. Geochim.Brasil., 3:93-114.

GREEN, P.F.; DUDDY, I.R.; O'SULLIVAN, P.; HEGARTY, K.A.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; GOMES, C.B. (1991a) Análise de traços de fissão em apatita de rochas alcalinas do Paraguai Oriental e sua implicação para a exploração de hidrocarbonetos. 3º Congr.Bras.Geoq./1º Cong.Geoq.PLOP, São Paulo, Brasil, Resumos, p.627.

GREEN, P.F.; DUDDY, I.R.; O'SULLIVAN, P.; HEGARTY, K.A.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; GOMES, C.B. (1991b) Mesozoic potassic magmatism from the Asunción-Sapucaí graben (Paraguay): apatite track analysis of the Acahay suite and implications for hydrocarbon exploration. Geochim.Brasil., 5 (no prelo).

HARRINGTON, H.J. (1950) Geologia del Paraguay Oriental. Fac.Ci. Ex.Fís.Nat., Contr.Cient., Sér. E, Geologia, 1:1-82.

HARRINGTON, H.J. (1972) Silurian of Paraguay. In: BERRY, W.B.N.

- e BOUCOT, A.J. (eds.), Correlation of the South American Silurian rocks, p.41-50.
- HERZ, N. (1977) Timing of spreading in the South Atlantic: information from Brazilian alkalic rocks. Geol.Soc.Amer. Bull., 88:101-112.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT (1980) Tectônica da Bacia do Paraná, São Paulo. IPT Relatório n° 091, 187p.
- KASMIN, V. (1987) Two types of rifting: dependence on the condition of extension. In: RAMBERG, I.B.; MILANOVSKY, E.E.; QVALE, G. (eds.), Continental rift - Principal and regional characteristics. Tectonophysics, 143:85-92.
- KAWASHITA, K. (1972) O método Rb/Sr em rochas sedimentares: aplicação para as Bacias do Paraná e Amazonas. Tese de Doutorado, IG-USP, 111p.
- KAWASHITA, K. (1983) Um sistema de aquisição e processamento de dados "on line" em um espectrômetro de massa do Centro de Pesquisas Geocronológicas. CPGeo, IG-USP, Relatório Interno, 14p.
- LANA, M.C. (1987) Dinâmica do rifteamento continental. Seminário de Rift Continental, Rio de Janeiro, Petrobrás, p.1-14.
- LE BAS, M.J. (1987) Ultra-alkaline magmatism with or without

- ifting. In: RAMBERG, I.B.; MILANOVSKY, E.E.; QVALE, G. (eds) Continental rift - Principal and regional characteristics Tectonophysics, 143:75-84
- LE MAITRE, R.W. (1989) A classification of igneous rocks and glossary terms. Recommendations of the International Union of Geology Sciences, Subcomission on the sistematic of igneous rocks. Black.Scient.Publ., 193p.
- LIVIERES, R.A. (1987) Der karbonatit-komplex von Chiriguelo. Nordost-Paraguay Ph.D. Thesis, Clausthal University, 191p.
- LIVIERES, R.A. e QUADE, H. (1987) Distribución regional y asentamiento tectónico de los complejos alcalinos del Paraguay Zbl.Geol.Palont., Teil I, (7/8) 791-805.
- MARIANO, A N e DRUECKER, M.D. (1985) Alkaline igneous rocks and carbonatites of Paraguay. Geol.Surv.Amer.Abst., 12, p.166.
- MORGAN, P. e RAMBERG, I.B. (1987) Physical changes in the lithosphere associated with termal relation after rifting. In RAMBERG, I.B.; MILANOVSKY, E.E.; QVALE, G. (eds.), Continental rift-Principal and regional characteristics. Tectonophysics, 143:75-84.
- NEUGEBAUER, H.J. (1983) Mechanical aspects of continental rifting. Tectonophysics, 24:91-108.
- ORGANIZACIÓN DE LOS ESTADOS AMERICANOS-OEA (1975) Cuenca de la

Plata, República del Paraguay - Proyecto Aquidabán.  
Desarrollo de la región nororiental. Washington, 197p.

PALMIERI, J.H. (1973) El complejo alcalino potásico de Sapucaí  
(Paraguay Oriental). Tese, Universidad de Salamanca, 298p

PALMIERI, J.H. e ARRIBAS, A. (1975) El complejo alcalino potásico  
de Sapucaí (Paraguay Oriental). Congr. Ibero-Amer. Geol. Econ.,  
Buenos Aires, Anais, 2:267-300.

PICCIRILLO, E.M. e MELFI, A.J. (eds.) (1988) The mesozoic flood  
volcanism of the Paraná Basin: petrogenetic and geophysical  
aspects. IAG-USP, 600p.

PICCIRILLO, E.M.; RAPOSO, M.I.B.; MELFI, A.J.; COMIN-CHIARAMONTI,  
P.; BELLINI, G.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K. (1987) Bimodal  
fissural volcanic suites from the Paraná Basin (Brazil): K/Ar  
age, Sr isotopes and geochemistry. Geochim. Brasil. 1:53-69

PICCIRILLO, E.M.; BELLINI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; ERNESTO,  
M.; MELFI, A.J.; PACCA, I.G.; USSAMI, N. (1988) Significance  
of the Paraná flood volcanism in the disruption of western  
gondwaland. In: PICCIRILLO, E.M. e MELFI, A.J. (eds.), The  
mesozoic flood volcanism of the Paraná Basin - petrogenetic  
and geophysical aspects. IAG-USP, p.285-295

PROYECTO PAR 83/005-FNUV-MDN (1986) Mapa geológico del Paraguay.  
Texto Explicativo, Asunción, 270p.

- PUTZER, H. (1962) Die geologie von Paraguay. Beitr.Reg.Geol. Erder , 2:182p.
- PUTZER, H. e VAN DEN BOOM, G. (1961) Über einige vorkommen von alkaligesteinen in Paraguay. Geol.Tb., 29:423-444.
- ROCHA-CAMPOS, A.C.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K.; SONOKI, H.M.; SONOKI, I.K. (1988) Age of the Paraná flood volcanism. In: FICCIRILLO, E.M. E MELFI, A.J. (eds.), The mesozoic flood volcanism of the Paraná Basin-Petrogenetic and geophysical aspects. IAG-USP, p.25-45.
- SADOWSKI, G.R. (1987) A possible relation between pulses of platform activation and plate kinematics. Tectonophysics, 143:43-57.
- SONOKI, I.K. e GARDA, G.M. (1988) Idades K-Ar de rochas alcalinas do Brasil meridional e Paraguai oriental: compilação e adaptação às novas constantes de decaimento. Bol.IG-USP, Sér. Cient., 19:63-85.
- SORENSEN, H. (1974) The alkaline rocks. John Wiley, London, 622p
- SORENSEN, H. (1986) The alkaline rocks: review. Fortschr.Miner., 64:63-86.
- STEIGER, R.H. e JAEGER, E. (1978) Subcomission on geochronology: convention on the use of decay constants in geochronology. Contribution to the geologic time scale, studies in geology,

6:67-72.

STORMER, J.C.; GOMES, C.B.; TORQUATO, J.R.F. (1975) Spinel  
herzolite nodules in basanite lavas from Asuncion, Paraguay.  
Rev. Bras. Geoc., 5:176-185.

STRECKEISEN, A. (1973) Classification and nomenclature  
recommended by the IUGS. Geol. Newsletter, 2:110-127.

STRECKEISEN, A. (1976) To each plutonic rock its proper name.  
Earth-Sci. Rev., 12:1-33.

STRECKEISEN, A. (1978) Classification and nomenclature of  
volcanic rocks, lamprophires, carbonatites and melilitic  
rocks. Recommendations and suggestions. N. Jb. Miner. Abh.,  
134:1-14.

SZAMARI, P.; FLANCOLIN, J.B.L.; ZANOTTO, O.A. WOLFF, S. (1987)  
Evolução tectônica da margem equatorial brasileira. Rev.  
Bras. Geoc., 12(2):280-288.

TERUGGI, M.F. (1980) Clasificación de las rocas ígneas. Según la  
Subcomisión de Sistemática de las rocas ígneas de la Unión  
Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS). Colec. Cienc.  
Terra, Buenos Aires, 1:1-33.

THOMAS e ASSOCIATES (1976) Preliminary geologic interpretation  
southeastern Paraguay. T.A.C., Rep. Inter., Asunción, 19p.

- TORQUATO, J.R.F. (1974) Geologia do sudoeste de Moçâmedes e sua relação com a evolução tectônica de Angola. Tese de Doutorado, IG-USP, 111p.
- TURCOTTE, D.L. e EMERMAN, S.H. (1983) Mechanical of active and passive rifting. *Tectonophysics*, 24:91-108.
- ULBRICH, H.H.G.J. e GOMES, C.B. (1981) Alkaline rocks from continental Brazil. *Earth Sci.Rev.*, 12:135-154.
- ULBRICH, H.H.G.J.; GARDA, G.M.; ULBRICH, M.N.C. (1990) Avaliação das idades K/Ar dos maciços alcalinos do Brasil Sul-oriental e Paraguai Oriental. *Bol.IG-USP, Publ.Esp.*, 2:87-92.
- UNTERNERH, P.; CURIE, D.; OLIVET, J.L.; GOSLIN, J.; BEUZART, P. (1988) South Atlantic fits and intraplate boundaries in Africa and South America. *Tectonophysics*, 155:169-179.
- VELÁZQUEZ, F.V.; DE MIN, A.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; GOMES, C.B.; PICCIRILLO, E.M.; VELÁZQUEZ, J.C. (1990a) Vulcanismo mesozóico no Paraguai centro-oriental (Área Ypacaraí-Sapucai). 1er. Coloquio de Rocas Magmáticas de Paraguay. Univ.Nac.Asun., Fac.Ci.Exact.Nat., Resumo.
- VELÁZQUEZ, F.V.; KAWASHITA, K.; GOMES, C.B.; COMIN-CHIARAMONTI, P. (1990b) Província Alcalina Central, Paraguai: dados geocronológicos preliminares. 1er. Coloquio de Rocas Magmáticas de Paraguay. Univ.Nac.Asun., Fac.Ci.Exact.Nat., Resumo.



- WIENS, F. (1982) Mapa geológico de la Región Oriental, República del Paraguay, Escala 1: 500000. Prim.Simp.Rec.Nat., Asunción
- WIENS, F. (1986) Zur lithostratigraphischen, petrographischen und strukturellen entwicklung des Rio Apa hochlandes, Nordost-Paraguay. Ph.D. Thesis, Clausthal University, 280p.
- WOLFART, R. (1961) Stratigraphie und fauna des alteren Palaeozoikums (Silur-Devon) in Paraguay. Geol.Jhrb., ZB: 29-102.
- WOOD, C.A. (1983) Continental rifting jumps. Tectonophysics, 24:193-222.
- ZALÁN, P.V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J.C.J.; MARQUES, A.; ASTOLFI, M.A.M.; VIEIRA, I.S.; APPI, V.T.; ZANOTTO, D.A. (1990) Bacia do Paraná. In: DE RAJA GABAGLIA, G.F. e MILANI, E.J. (coords.). Origem e evolução de bacias sedimentares. Petrobrás, p.135-168.
- ZUBER, M.T. e PARMENTIER, E.M. (1986) Lithospheric necking: a dynamic model for rift morphology. Earth. Planet.Sci.Lett, ZZ:373-222.